汽车　拖拉机　摩托车

交流发电机结构原理与检修

胡明义　编著

北京理工大学出版社

目　录

绪　论

在现代汽车、拖拉机、摩托车上供启动、点火、照明、仪表、空调等电气设备所需要的电能是由发电机和蓄电池提供的。蓄电池虽具有储存电能和向外供电的功能(如供启动时用电，以及当发动机不运转或低速时发电机电压低于蓄电池情况下向用电器供电)，但它如不经常充电，电能就会很快耗尽。发电机由发动机带动而发电。发电机除向用电设备供电外，还将剩余的电能向蓄电池充电。所以发电机是主电源，蓄电池是辅电源。发电机的功率取决于汽车、拖拉机、摩托车上电气设备的功率和蓄电池容量。由于汽车、拖拉机、摩托车上电气设备是在发动机转速和负载变动范围很大的情况下工作的，因此由发动机带动的发电机也是在转速和负载变动很大的状态下工作。

当今，汽车、拖拉机、摩托车发电机品种和结构较多，名称也较多。按发电机是否带电刷装置来分，可分为有刷发电机和无刷发电机。按发电机发出的是直流电还是交流电，有刷发电机又可分为直流发电机和有刷交流发电机。按激磁方式分，无刷交流发电机又可分为永磁激磁的无刷交流发电机、电磁激磁的无刷交流发电机、永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机。按发电机采用的电子元件特征来命名，带硅整流器的交流发电机称为硅整流交流发电机。除内装硅整流器外，还有内装电子式电压调节器的交流发电机，称为整体式交流发电机。对于整体式交流发电机，为区别其是有刷的还是无刷的，可分为整体式有刷交流发电机和整体式无刷交流发电机。按发电机

转子结构的特征来命名，交流发电机采用爪极转子结构的，称为爪极式交流发电机；交流发电机采用感应子结构的，称为感应子式交流发电机。

直流发电机最早问世于 1832 年，由法国皮克西（Hippolyte Pixii）兄弟根据法拉弟电磁感应原理制成。1905 年直流发电机开始被应用于汽车上。从本世纪 60 年代起世界发达国家的汽车显著增加，城市低速行驶时间较多、启动次数频繁、蓄电池放电量较大。在这种情况下，直流发电机既要提高输出功率又要能满足汽车低速时向蓄电池充电，就必然要增大发电机的体积和质量，从而导致在发动机上安装困难。此外，现代汽车的发展，要求发动机转速变动范围很大，如果直流发电机在低速范围达到充电要求，那么当发动机高速时其转速会很高，致使其换向困难，电刷与换向器之间的火花很大，甚至使发电机不能正常工作。因此，传统的直流发电机不能适应现代汽车发展的需要，而逐渐被交流发电机所替代。

本世纪 60 年代早期出现的内装硅整流器、采用爪极转子的三相交流发电机，即爪极式硅整流有刷交流发电机，它与直流发电机相比较，体积小、质量轻、低速充电性能好、火花小、比功率大、使用寿命较长，从而迅速获得广泛应用。

近 30 年来随着汽车、拖拉机、摩托车的蓬勃发展，交流发电机结构、功能、品种又有了很大的发展。例如，原先采用的触点式电压调节器和晶体管电压调节器，体积较大，与发电机只能分离配套使用。而集成电路电压调节器的发展和采用，使电压调节器小型化，电压调节器和交流发电机组装成一体。又如，随着普通的 6 管硅整流交流发电机的广泛应用，8 管硅整流交流发电机、9 管硅整流交流发电机、11 管硅整流交流发电机又陆续出现。近几年来。双内风扇双风道式硅整流交流发

电机崛起，它依靠转速的提高和冷却的改善，使发电机的体积大大缩小。这种交流发电机有可能成为当今世界交流发电机主流。无刷交流发电机，由于其电路上根除了滑动接触装置和旋转绕组，工作可靠性和使用寿命大为提高，在高振动、多尘、严寒等场合，获得广泛应用。随着磁性材料和电子元件的性能、可靠性和经济性的提高，永磁激磁的无刷交流发电机已在摩托车上获得广泛应用，汽车用永磁激磁的无刷交流发电机、汽车拖拉机用永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机正在进入新的发展阶段。

在汽车、拖拉机、摩托车上电气设备通常是单线制，标称电压为 6 V、12 V 和 24 V，所以发电机也通常为单线制。交流发电机一般还采用负极接地制。由于考虑到发电机至汽车、拖拉机、摩托车其它电气设备线路上有电压降，因此交流发电机标称电压规定为 7 V、14 V 和 28 V。在某些汽车、拖拉机、摩托车上电气设备也有采用双线制的，其交流发电机也相应采用双线制。

对于合格的发电机，其技术数据和要求应符合汽车、拖拉机、摩托车有关标准。产品包装箱和合格证上应标有与产品相符的标准代号、检验员代号、出厂日期等。在每台产品的明显部位上应具有产品标志，如产品名称、产品型号、技术数据、制造厂或商标、制造日期或代号等。在遵守发电机安装和使用规则的前提下，在质量保证期内，产品因制造不良而不能正常工作时，制造厂应无偿为用户修理或更换。

第一章　交流发电机的基础知识

第一节　电生磁

一、磁的概念

大家知道，我国最先发现磁铁和应用磁铁。早在公元前，我们祖先就发现了“磁石召铁”的现象，并在11世纪利用磁铁制成指南针应用于航海事业，对世界科学技术的发展作出了贡献。

磁铁（俗称磁石）具有吸铁的性质即磁性。磁铁有条形磁铁、马蹄形磁铁、环形磁铁等（图1-1）。

磁铁两端磁性最强，称做磁极。磁针或条形磁铁具有指地球南北方向的性质。如果将一根磁针或条形磁铁的中心支撑或悬挂起来，并能自由转动，则它将停止在南北方向上，如图1-2所示。指南的一个极，称南极，用S表示；指北的一个极称北极，用N表示。两块磁铁的磁极之间的互相作用力叫做磁力。磁极间具有同性相排斥、异性相吸引。磁铁周围存在一种特殊形态的物质，叫做磁场。磁极间的互相作用力就是通过它来传递的。可以用小磁针是否受磁力作用来检验磁场的存在。磁铁周围的磁场

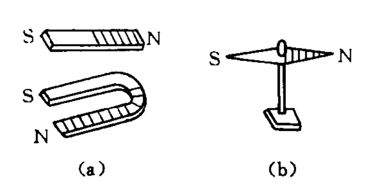


图1-1　磁铁的形状

（a）条形磁铁和马蹄形磁铁；（b）磁针

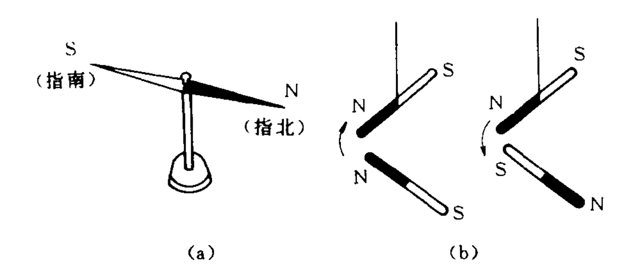


图 1－2　磁的性质

(a) 磁针具有指南北性质；(b) 同名磁极相斥，异名磁极相吸

各点强弱不同，并具有方向性。把磁场中物体单位面积上所受磁力的大小，叫做磁场强度。下面通过一个实验来观察和分析磁铁周围空间各点磁场强度的分布情况：将磁铁放在玻璃板下，在玻璃板上面撒上细铁屑，轻敲玻璃板，细铁屑就会在磁场作用下，排成线状，分布在磁铁周围的空间，如图 1－3。为了形象地表示磁场和分析问题的方便，用假想的磁力线来表

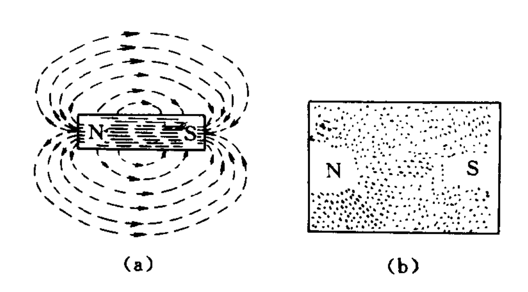


图 1－3　条形磁铁的磁力线

示磁场。用磁力线的密疏来表示磁场强度的大小，磁力线的方向表示磁场强度的方向。磁力线有三个特点：(1) 磁力线是有方向性的，它总是形成封闭曲线。(2) 磁力线总是互不相交。(3) 磁力线总是力图缩短其长度的方向。将穿过一定面积的

磁力线数目，叫做磁通量，简称磁通。

二、电流的磁场

实验证明，通过电流的导线，在导线周围即产生磁场；如果导线中电流中断，则其周围的磁场也就消失。这种现象叫做电流的磁效应。电流的磁效应反映电流和磁场的不可分割的内在联系。磁场总是伴随电流而存在，而电流则永远被磁场所

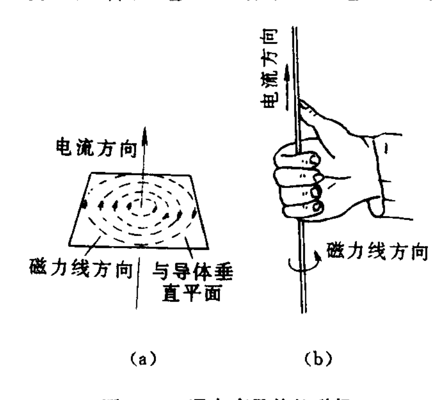


图 1－4　通电直导体的磁场

(a) 通电直导体周围的磁力线；(b) 通电直导体磁力线方向的确定

包围（图 1－4）。通电导线周围所产生的磁场中，其磁力线的方向，决定于电流的方向，可用右手定则来判定。如图 1－4 所示，假想以右手握住导线，使拇指指向与电流方向相同，则其余弯曲的四指的方向就是磁力线的方向。

电流通过螺管状线圈时，线圈周围也会产生磁场。通电线圈周围的磁力线方向，决定于电流的方向，用右手定则来判定。如图 1－5 所示，假想以右手握住螺管状线圈，四指指电流方向，则伸直的拇指所指的方向就是线圈磁力线的 N 极（北极）方向。通电螺管线圈内的磁场强弱，跟线圈内电流大小、线

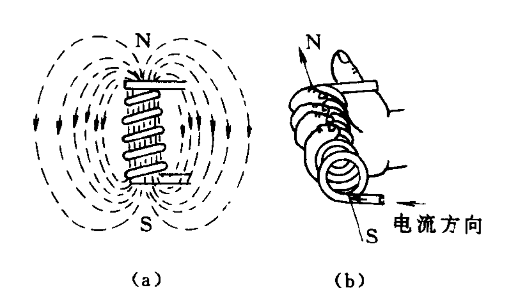


图1-5　通电线圈的磁场

(a) 通电线圈的磁力线;(b) 通电线圈磁力线方向的确定

圈圈数以及有无导磁铁心有关。

但永久磁铁并没有外加电流,那么它的磁场是怎样产生的呢?

原来组成物质的分子中,由于电子环绕原子核运动和本身自转运动而形成分子电流,分子电流也要产生磁场,每个分子相当于一个基本小磁铁,称磁分子。但磁性物质的磁单位不是磁分子,而是由许多磁分子组成的磁性区域。这些天然的磁性区域称作磁畴。在每个磁畴内的磁分子的磁场方向是一致的,所以具有一定的磁性,当外磁场不存在时,在一块磁性物

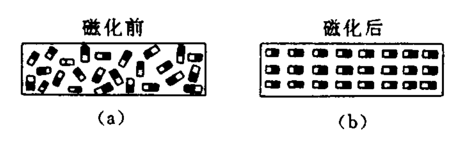


图1-6　磁畴排列与磁性的关系

(a) 磁畴排列混乱,显示不出磁性;(b) 磁畴排列整齐,显示磁性

质中,由于磁畴方向紊乱,对外不呈现磁性。如图1-6(a)所示。当外磁场作用时,各个磁畴的方向及其范围发生变化,从

而产生附加磁场。由于附加磁场的方向与外磁场的方向一致，故总的磁场大大增加，如图1－6(b)。对铁磁性材料而言，此值可比外磁场强数百倍，甚至数千倍以上。例如，在电机和变压器等的线圈中以10号钢、硅钢等磁性材料作为铁心，在这种具有铁心的线圈中通入不大的激磁电流，铁心内的磁通就将极大增加，从而满足发电机和电器既要磁通大、又要激磁电流小的要求。物质受磁力作用而产生磁性的现象，称作磁化。当铁心外线圈中的电流被切断时，铁心的磁性将消失。这时铁心中残留磁性或称剩磁很小。如果铁磁性材料去掉外磁场时，磁畴的排列并不紊乱，仍基本上保持了一致性，因此对外仍显示了磁性，这就是永久磁铁磁场形成的原理。

对于非铁磁性材料，例如铜、铝、陶瓷等，它们没有磁畴的结构，在外磁场的作用下，它们的附加磁场极小。所以这些物质不具有磁化的特性。

第二节　磁生电

一、电磁感应的原理

由上所述可知磁场是电流产生的，电流周围存在着磁场。在电荷运动的条件下，电转化为磁，所谓“电生磁”；同样，在一定条件下，磁又能转化为电，即所谓“磁生电”。

当导体在磁场中相对磁场作运动时(见图1－7)，导体将会切割磁力线。导体相对磁场运动有两种方式：磁场不动，导体移动；导体不动，磁场移动。导体切割磁力线后，导体中就会有电动势产生，这个电动势叫做感应电动势，这种现象称为电磁感应。如果导体是闭合电路，导体在感应电动势的作用下就有电流产生，这个电流叫做感应电流。发电机就是根据上述原

理制成的。感应电流的方向，可用右手定则来判定：假想伸出右手放在磁场中，使大拇指与其余四指垂直，并且在手掌同一平面里，让磁力线从手心穿过，用大拇指表示导体切割磁力线运动的方向，则其余四指所指的方向就是感应电流的方向。导体中感应电流的大小，主要取决于磁场的强弱、导体的长短和切割磁力线的速度(或磁力线变化速度)。

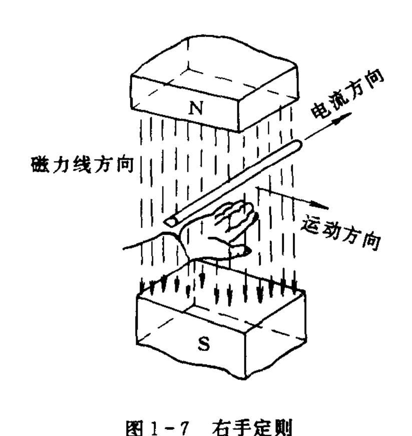


图 1－7　右手定则

二、交流发电机发电原理

图 1－8 是一个最简单的交流发电机装置：一个在磁场中旋转的单匝线圈，线圈的两端分别连接两个彼此绝缘的铜环，铜环上装有一对连接外电路的电刷。当线圈的 A 边在 N 极切割磁力线时，另一个 B 边同时在 S 极切割磁力线。根据右手定则，我们知道线圈两边感应电势的方向是相反的。线圈两个边在 N、S 极间旋转一

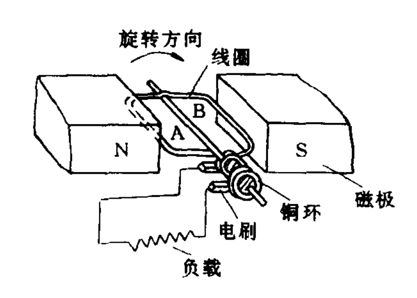


图 1－8　最简单的交流发电机

个整周，则线圈两个边感应的电流就将交变一次。所以其发出的是交流电。通过电刷与铜环的滑动接触，就能将电能引出到外电路。

第三节　交流电与整流电路

一、单相交流电

上面讲到的发电装置，磁场是固定的，线圈在磁场内转动而产生交流电。如果将一组线圈固定在定子铁心内，磁铁或电磁激磁铁心作为转子在定子内转动，那么同样可以发出交流电。下面按图 1-9 分析。设转子均匀转动，a、d 为线圈的输出端，转子转一周是 360°，选四个位置进行讨论，并把转子在各

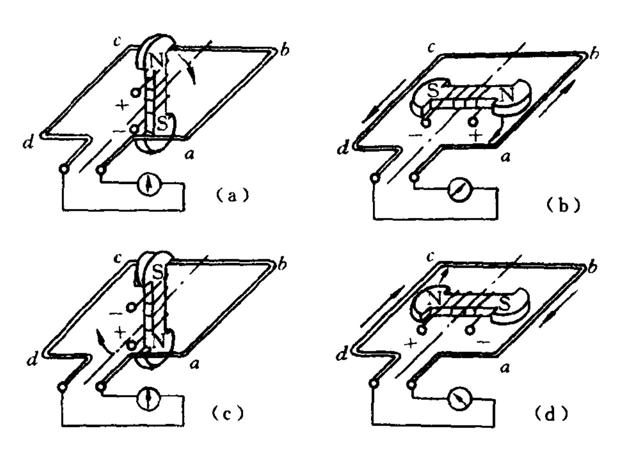


图 1-9　交流电的产生

位置时定子线圈内感应电流大小、方向用图 1-10 表示。

在图 1-9(a)位置时，线圈没有切割磁力线，所以感应电流为零；在(b)位置时转子转过 90°，线圈切割磁力线最多，感

应电流也最大，感应电流的方向是 $a \to b \to c \to d$；在(c)位置时，转子转过 180°，线圈又没有切割磁力线，所以感应电流又为零；在(d)位置时，转子转过 270°，此时线圈切割磁力线又达到最多，感应电流也达到最大。但感应电流方向相反，为 $d \to c \to b \to a$。转子转过 360°，又回复到位置(a)，感应电流也回复到零。由上面的分析知道，转子转动一周，定子线圈中感应电流大小、方向的变化完成一次循环。所以这种大小、方向随时间作有规律变化的电流称为交流电。

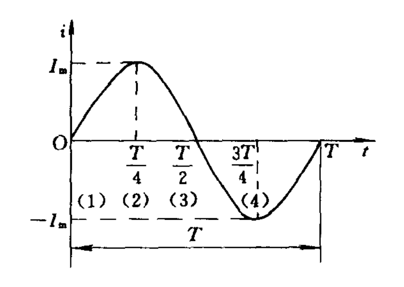


图 1-10　交流电的变化

电流变化一周(即完成一次循环)所需的时间叫周期，用 T 表示，单位是秒(s)。在单位时间(1 s)内，交流电变动的周数叫做频率，用字母 f 表示，单位是赫兹(Hz)(简称赫，1 Hz 就是每秒变动 1 周)。根据以上定义，周期和频率互为倒数，即

$$T = \frac{1}{f} \text{ 或 } f = \frac{1}{T}$$

二、三相交流电

在发电机的定子上，如果只有一组线圈，则只能产生单相交流电。这样的发电机称作单相交流发电机。它所发出的电流就是如上所述的单相交流电。

图 1-11 是最简单的三相交流发电机。其发电原理与单相交流发电机相同，但它的定子里不是一组线圈，而是有形

状、匝数、尺寸相同的三组线圈或称三相绕组 AX、BY、CZ(通常人们把一个线圈称线圈,一组线圈称绕组),它们的位置彼此相隔 120°。当带有强磁场的永磁转子或电磁激磁转子的磁场顺次切割定子绕组时,在每一相绕组里均产生一个幅值、频率都相同的交流电,所不同的只是到达幅值的时间有先后,若以 A 相为基准,则 B 相的变化比 A 相落后 120°,C 相又比 B 相落后 120°。这就叫三相交流电。如图 1-12 所示。可用下式表示:

$$i_A = I_m \sin \omega t$$

$$i_B = I_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$i_C = I_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

式中 i_A——A 相瞬间交流电(A);

i_B——B 相瞬间交流电(A);

i_C——C 相瞬间交流电(A);

I_m——交流电电流的幅值(A);

ω——转子角频率(Hz)

t——时间(s)。

交流电电流的幅值,也称交流电电流的最大值。

相电压的瞬时值可以下式表示:

$$u_A = U_m \sin \omega t$$

$$u_B = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$u_C = U_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

式中 U_m——交流电压的幅值(V)。

交流电和直流电虽然各有特殊的性质,但从它们消耗电

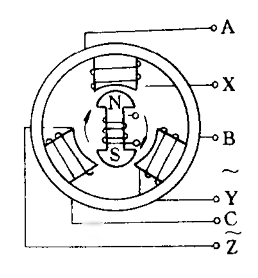


图 1-11　三相发电机示意图

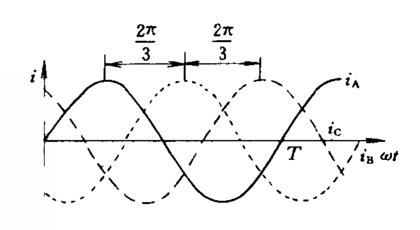


图 1-12　三相交流电的变化

能的角度来看，又是可以互相等效的。假设一定大小的直流电与一定大小的交流电分别通过一个等值电阻，如果在交流电的一个周期内，两者消耗的电能相等，则称此直流电的数值为交流电的有效值。其电流和电压以符号 I、U 表示。交流电有效值与其最大值存在如下关系（这里指正弦交流电）：

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m$$

如果交流发电机三个绕组之间不发生联系，各自输出电能，这样三个绕组需要六根导线，在实用中很不经济。将三相绕组彼此间按一定方式接通，可以避免这一缺点。三相交流发电机绕组的连接法分为星形（用符号"Y"表示）和三角形（用符号"△"表示）接法。

图 1-13 为三相交流发电机绕组的星形接法，即将三相绕组末端 X、Y、Z 连接在一起，称作中性点。从这里引出一根导线，称作中性线。从三相绕组的始端引出的三根导线，分别称作 A 相线、B 相线、C 相线，统称相线。任一相始端与末端的电压，也即相线与中性线之间的电压，称为相电压，其有效值

用U_A、U_B、U_C或一般地用U_Φ来表示。而任意两根相线间的电压称作线电压，其有效值用U_{AB}、U_{BC}、U_{CA}或一般用U_x来表示。线电压与相电压之间的关系是

$$U_x = \sqrt{3}U_\Phi$$

图 1-14 为三相交流发电机绕组的三角形接法，即将三

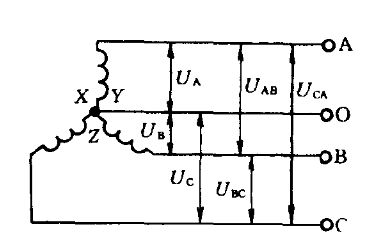


图 1-13　星形连接法

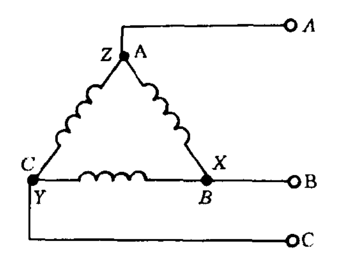


图 1-14　三角形连接法

相绕组中一相的末端与另一相绕组的始端顺次连接，再引出三根相线。三角形接法的线电压等于相电压。此接法没有中性线。

三、直流电的获得——整流电路

交流发电机发出的是交流电，但汽车、拖拉机、摩托车上却需要直流电供给蓄电池和直流用电器。将交流电变换为直流电的装置，最简单的方法就是半导体整流元件组成的整流电路。

这里，先介绍一下半导体二极管的单向导电性及二极管的电工符号。二极管单向导电性可以通过下列实验来说明。如按图 1-15 所示接好电路，按下开关，电流表指针偏转。这说明二极管“导通”，电路中有电流通过。若按图 1-16 所示的电

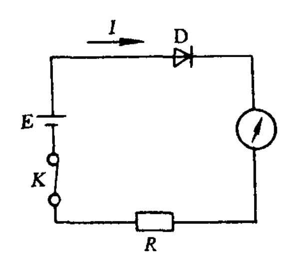


图 1－15　二极管“导通”

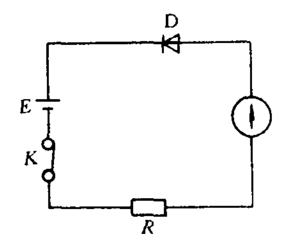


图 1－16　二极管“不导通”

路实验，按下开关，电流表指针不偏转，说明二极管“不导通”，电路中没有电流通过。利用这一性质半导体二极管可作整流元件。其电工符号如图 1－17 所示。习惯上把二极管导通时接电源正极的一端称为“阳极”，另一端称为“阴极”。

（一）单相半波整流电路

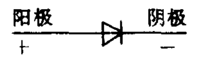


图 1－17　二极管的符号

图 1－18 就是以半导体二极管作整流元件的最简单的单相半波整流电路。它由发电机单相绕组、整流元件 D、和负载 R（相当于需要用直流电源的电气设备）组成。当发电机发出的交流电处于正半周：a 正 b 负时，二极管在正向电压下导通，有电流通过负载 R，电流方向由 $c \to d$。当交流电处于负半周：a 负 b 正时，二极管在反向电压下不导通，无电流输出。再当发电机发出的交流电处于正半周时，二极管又导通，负载上有同样的直流输出，依此类推。通过负载的是单向脉动的直流电。这就是二极管的整流过程。

图 1－19 所示的交流输入波形，在 $0 \sim t_1$ 这段时间交流电处于正半周，二极管导通，在直流输出中有相应变化的波形；在 $t_1 \sim t_2$ 时间，二极管不导通，因此无电流输出；而在 $t_2 \sim t_3$ 时间中又导通。这样在负载 R 上得到了单方向的半波电流，交

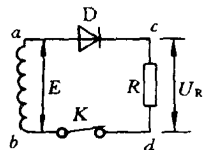




图 1-18　单相半波整流电路

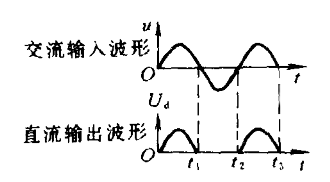


图 1-19　单相半波整流

流电就变换为脉动的直流电。由于这种整流只利用了单相交流电的半个波，所以称作“单相半波整流”。

负载上得到的整流电压虽然是单方向的，但其大小是变化的，通常用一个周期的平均值来说明它的大小。单相半波整流电压的平均值为

$$U_R = 0.45E$$

式中　E——单相交流发电机的电势(V)。

由上式可得出整流电流的平均值

$$I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{0.45E}{R}$$

整流元件 D 所承受的反向电压 U_{RM} 就是单相交流发电机电势 E 的最大值：

$$U_{RM} = E_m = \sqrt{2}E$$

单相半波整流电路简单，使用元件少，但只利用了半个波，发电机交流输出的利用率不高，而且直流输出的脉动性很大。

（二）单相桥式全波整流电路

图 1-20 是单相桥式全波整流的电路图。它由发电机单相绕组 ab、整流元件 D_1、D_2、D_3、D_4 和负载 R 组成。当发电机发出的交流电处于正半周 a 正 b 负时，D_1、D_3 导通，电流从 $a \to D_1 \to c \to d \to D_3 \to b$；当发电机发出的交流电处于负半周 a 负

b 正时，D_2、D_4 导通，电流从 $b \to D_2 \to c \to d \to D_4 \to a$。通过负载的电流均为由 $c \to d$，c 为直流输出的正极，d 为负极。

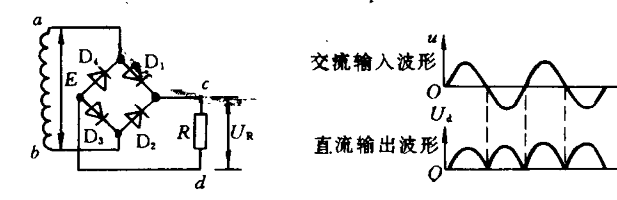


图 1 - 20　单相桥式全波整流电路　　　图 1 - 21　单相全波整流

单相桥式整流后的波形如图 1 - 21 所示。其输出直流电压值，这里即全波桥式整流电路的整流电压的平均值为

$$U_R = 0.9E$$

式中　E——单相交流发电机电势(V)。

通过每个整流元件的平均电流，只是流过负载 R 的直流电流的一半，即

$$I_F = \frac{1}{2}I_R = \frac{0.45E}{R}$$

式中　I_F——每个整流元件流过的平均电流(A)；

I_R——流过负载的整流电流(A)。

而每个整流元件所承受的最大反向电压是单相交流发电机的电势最大值，即

$$U_{RM} = \sqrt{2}E$$

采用单相桥式整流与半波整流相比较，其交流发电机输出利用率高，直流输出脉动改善。但由于单相交流发电机功率较小，一般这种电路在摩托车上获得较广泛的应用。

(三) 三相桥式全波整流电路及其计算

图 1 - 22 所示为三相桥式全波整流电路，交流发电机三相绕组采用星形连接。汽车交流发电机普遍采用这种电路。这

里假设整流电路的负载是纯电阻 R，整流器及其整流作用是理想的（即设正向电阻 $R_{正向}=0, R_{反向}=\infty$）。三相桥式整流电路有六个二极管，上面三个为正极组（D_1、D_3、D_5），它们的阴极接在一起；下面三个为负极组（D_2、D_4、D_6），它们的阳极连接在一起。整流二极管导通方向是从正极组中具有最高电位的阳极到负极组中具有最低电位的阴极。因此，任何时刻只有两个二极管工作。每个二极管导通时间为三分之一个周期（$T/3$）。

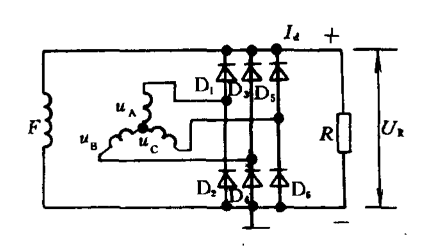


图 1-22　三相桥式全波整流电路

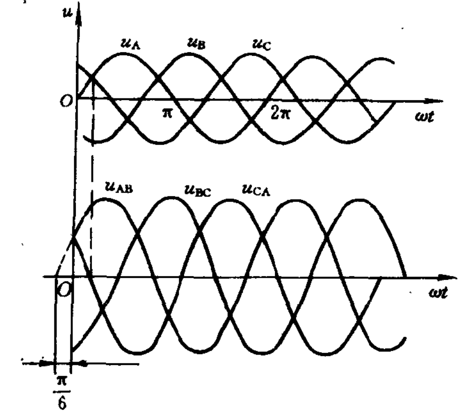


图 1-23　三相交流发电机相电压和线电压的波形

三相交流发电机的相电压和线电压的波形，如图 1-23 所示。图 1-24 所示为交流发电机三相交流电压波形及其整流后直流输出电压和电流波形。其整流原理如下：

在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，A相电位最高，B 相电位最低。这样电流从 A 相出发，经二极管 D_1、负载电阻 R、二极管 D_4，回到 B 相绕组形成回路。这时 A、B 相之间的线电压加在负载 R 上。

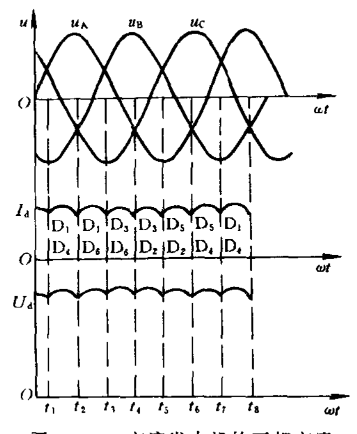


图 1-24 交流发电机的三相交流电压波形及其整流后直流输出电压和电流的波形

在 $t_2 \sim t_3$ 时间内，A 相的电压仍为高，而 C 相的电压变为最低，所以电流以 A 相绕组出发，经二极管 D_1、负载电阻 R、二极管 D_6，回到 C 相成回路。A、C 相之间的线电压加在负载 R 上。

在 $t_3 \sim t_4$ 时间内，B 相电压变为最高，而 C 相的电压仍为最低，所以电流就从 B 相出发，经二级管 D_3、负载电阻 R、二极管 D_6，回到 C 相成回路。B、C 相之间的线电压加到负载 R 上。

在 $t_4 \sim t_5$ 时间内，二极管 D_3、D_2 导通。

在 $t_5 \sim t_6$ 时间内，二极管 D_5、D_2 导通。

在 $t_6 \sim t_7$ 时间内，二极管 D_5、D_4 导通。

可见，交流发电机的线电压加在整流器上。其整流电压决定于相电压 u_A、u_B、u_C 上下包络线之间的纵坐标。因此，其整流电压 U_d 是脉动的，并且脉动频率是交流电频率的 6 倍，即

$$f_{脉动} = 6f = \frac{6pn}{60} = 0.1pn$$

式中　$f_{脉动}$——整流电压的脉动频率(Hz)；

f——交流发电机相电压频率(Hz)；

p——极对数；

n——交流发电机转速(r/min)。

三相桥式整流电路的整流电压的最小值等于 $1.5U_m$，而最大值为 $1.73U_m$。整流电压的脉动为

$$\Delta U_R = (1.73 - 1.5)U_m$$
$$= 0.23U_m$$

整流电压的平均值(脉动周期 $T/6$)为

$$U_R = 1.65U_m$$
$$= 2.34U_{\phi}$$
$$= 1.35U_x$$

式中　U_m——交流发电机相电压最大值(V)；

U_{ϕ}——交流发电机相电压有效值(V)；

U_x——交流发电机线电压有效值(V)。

可见，三相桥式整流电路整流电压的平均值为相电压有效值的 2.34 倍，为线电压有效值的 1.35 倍。

整流电压的脉动可用整流电压的平均值表达，即

$$\Delta U_R = 0.23\frac{U_R}{1.65} = 0.139U_R$$

当整流电压平均值为 14 V，整流电压的脉动为 1.95 V。这时，整流电压的最大值为 14.65 V，最小值为 12.7 V。

当整流电路负载为纯电阻 R 时，整流电流为

$$I_R = \frac{U_R}{R}$$

故整流电流和整流电压波形一样，整流电流的脉动幅值为

$$I_{RM} = \frac{U_{RM}}{R}$$

整流的平均值

$$I_R = \frac{6}{T}\int_{-\frac{T}{12}}^{\frac{T}{12}} I_{RM}\cos \omega t \mathrm{d}t = \frac{3I_{RM}}{\pi} = 0.955I_{RM}$$

在三相交流电路中，$U_\Phi = \frac{1}{\sqrt{3}}U_x$ 或 $U_x = \sqrt{3}U_\Phi$。

对于三相桥式整流电路，在交流电的每一周期，每个二极管只有 1/3 时间导通，因此，每个二极管的平均电流只为负载电流 1/3，即

$$I_F = \frac{1}{3}I_R$$

每个二极管所承受的最大反向电压为

$$U_{RM} = \sqrt{2}\ \sqrt{3}U_\Phi = 1.05U_x$$

实际上，在汽车交流发电机中选用的二极管反向电压要高得多，因为考虑到汽车电路中由其他电气设备产生的自感电动势作用于交流发电机的二极管，所以反向电压还应有一定的安全系数。

第二章　有刷交流发电机

第一节　有刷交流发电机的外形、规格参数与安装

图 2-1 所示为我国长沙汽车电器厂生产的部分有刷交流发电机的外观图。该厂生产的电机长期为第一汽车制造厂、南京汽车制造厂等主机厂配套，并向全国供应维修配件，现已

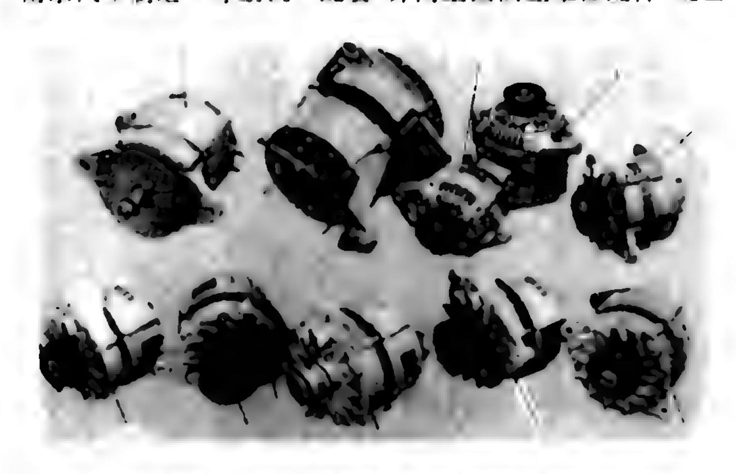


图 2-1　长沙汽车电器厂部分有刷交流发电机
1—JFZ2814 型(配康明斯发动机)；2—JFZ2902 型(配各种豪华型大客车)；3—JFZ1542 型(配天津夏利轿车)；4—JFZ1923 型(配北京切诺基车)；5—JF1326 型(配天津大发车)；6—JFZ1512 型(配广州标致 505 车)；7—JFZ1523A 型(配一汽 488 发动机)；8—JFZ1913Z 型(配上海桑塔纳轿车)；9—JF1536 型(配 CA141 车)；10—JFZ2518A(配斯达—斯太尔车)

为多种新型的汽车(上海桑塔纳、广州标致、天津大发、夏利、南京依维柯、重庆康明斯等)配套。

表2-1为长沙汽车电器厂生产的部分有刷交流发电机的规格参数。

表2-1 长沙汽车电器厂部分有刷交流发电机规格参数

型 号	标称电压/V	额定电流/A	额定转速/($r \cdot min^{-1}$)	电机外径/mm	调节器型号	适用机型
JF1326	14	35	5 000	120		天津大发、长安等
JFZ1542(1)	14	45	5 000	100		天津夏利
JFZ1533(1)	14	40	5 000	108		奥托、江陵
JFZ1913Z	14	90	6 000	138		桑塔纳、奥迪、高尔夫、捷达
JFZ1912	14	90	6 000	138		南京依维柯
JFZ1923(1)	14	90	5 000	118		北京切诺基
JFZ1512	14	47	4 000	125	JFT143	标致505
JFZ1523A	14	55	6 000	125	JFT143	一汽488发动机
JFZ1524	14	55	6 000	125	JFT143	南京依维柯
JFB1502(2)	14	50	5 000	130	JFT158	五十铃
JF1721	14	60	6 000	130		491Q(4Y)发动机
JF1526	14	50	5 000	125	JFT145	CA142、CA141
JF1536	14	50	6 000	125	JFT149	EQ140
JFZ2814	28	35	6 000	140	JFT246	康明斯发动机
JFZ2902	28	120	6 000	167	JFT247	濮阳柴油机、豪华旅游大客车
JFZ2518A	28	27	6 000	125	JFT243	斯达一斯太尔

注:(1) 内冷整体式结构;(2) 带真空泵

图 2－2 为我国上海汽车电器总厂生产的部分 350 W、500 W 有刷交流发电机外形尺寸图。其外形尺寸见表 2－2。

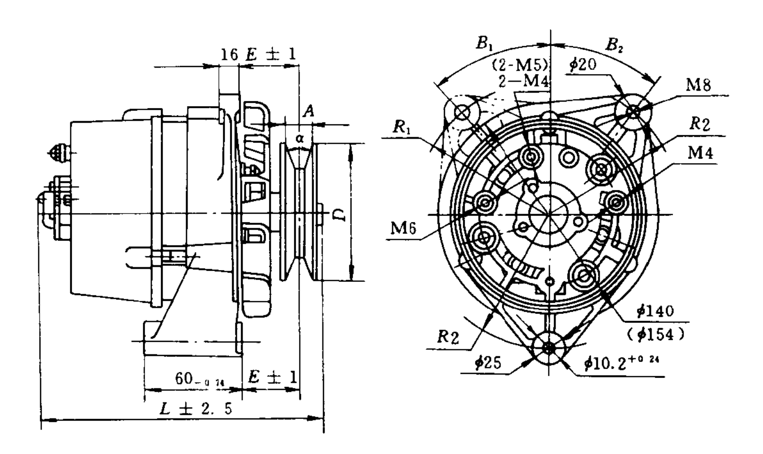


图 2－2 JF1311Z、JF1311Y、JF1511Z、JF2511Y 型有刷交流发电机外形尺寸图

表 2－2 图 2－2 标示尺寸(mm)

发电机型号	L	R_1	R_2	R_3	B_1	B_2	E	D	A	α	皮带轮代号
JF1311Z JF2311Z (JF11) (JF12)	177		85	85		40°	29	90	15	36°	P90－2
							36.5	90	17	36°	B90
							36.5	90	19	36°	B90－1
							33	90	17	36°	B90－2
							33	80	17	36°	B80－2
	179						35	120	23	38°	C120
	180						35.5	95	24	36°	C95－1
							28	68	10		2070(双槽)
	190						31.5	90	17		2B90
							31.5	115	17		2B115(双槽)
JF1311Y JF2311Y (JF11A) (JF12A)		85			40°		其余同JF1311Z,JF2311Z JF11 ,JF12				

续表

发电机型号	L	R_1	R_2	R_3	B_1	B_2	E	D	A	α	皮带轮代号
JF1511Z (2JF500)	180		92	92		40°	36.5	90	17	36°	B90
JF2511Z	182.5						35.5	95	24	36°	C95—1
(3JF500)	182						35	120	23	38°	C120
JF2511Y	182						其余同上				
(3JF500A)							32.5	115	17	36°	2B115(双槽)
注:括号内为日编号											

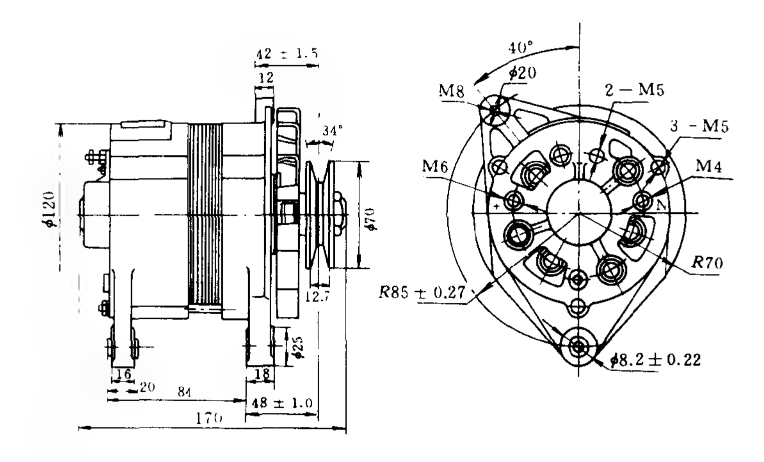


图 2－3　JF1514A 型有刷交流发电机外形尺寸图

图 2－3 所示为 JF1514A 型有刷交流发电机外形尺寸图，图 2－4 所示为 JF173 型有刷交流发电机外形尺寸图，图 2－5 所示为 JF2812Y 型有刷交流发电机外形尺寸图，图 2－6 为 JF1000—1、JF1000N—1 型有刷交流发电机外形尺寸图。

表 2－3 为上海汽车电器总厂生产部分有刷交流发电机规格参数。

表 2-3　上海汽车电器总厂部分有刷交流发电机规格参数

型号	额定功率/W	空载		满载			质量/kg	调节器型号	皮带轮代号	主要适用车型
		电压/V	转速/(r·min^{-1})	电压/V	电流/A	转速/(r·min^{-1})				
JF1311Z (JF11A)	350	14	1 000	14	25	3 500	3.7	FT121 FT111	B90	4120 柴油机(一汽锡柴)
									C95—1	692Q SH142 载重车
JF2311Z (JF12)	350	28	1 000	28	12.5	3 500	3.7	FT221 FT211	B90	4120 柴油机(一汽锡柴) X4105 (南柴)
									C90	4115 柴油机(北内) 铁牛 55 拖拉机
									2B90—1	X6105(南柴)
										东风—5 联合收割机
JF2311Y (JF12A)									B90	4135 柴油机(船用)(上柴)
									C120	4135 柴油机(工程机械)(上柴)
JF1511Z (2JF500)	500	14	1 000	14	36	3 500	4.5	FT111	B95—3	SH641、661 大客车
JF2511Z (3JF500)	500	28	1 000	28	18	3 500	4.5	FT221	2B115—2	6102 柴油机(朝柴)
										6105 柴油机(玉柴、柳发)

续表

型号	额定功率/W	空载		满载			质量/kg	调节器型号	皮带轮代号	主要适用车型
		电压/V	转速/(r·min^{-1})	电压/V	电流/A	转速/(r·min^{-1})				
JF2511Y (3JF500A)	500	28	1 000	28	18	3 500	4.5	FT221	C120	6135 柴油机〈工程机械〉(上柴)
									B90	6135 柴油机〈船用〉(上柴) 6130 柴油机〈天动〉
									2B115	6130Q 柴油机(杭发、济内)
JF1514A	500	14	1 300	14	36	4 800	4	FT111	A70—1	680Q 汽油机、SH760A
JF173	750	14	1 000	14	54	2 500	5.7	JFT106	P9—2	红旗牌轿车(长春)
JF2812Y	1 000	28	1 000	28	36	3 500	5.7	JFT207A	2C130	12V135AZK〈工程机械〉(上柴)
JF1000—1	1 000	28	1 000	28	36	2 250	9.5	JFT207A	联轴器	镇江 8135
JF1000N—1	1 000	28	1 000	28	36	2 250	9.5	JFT207A	联轴器	上柴 12V135 SH380〈船用〉
										无动 12V135 发电机组及固定动力

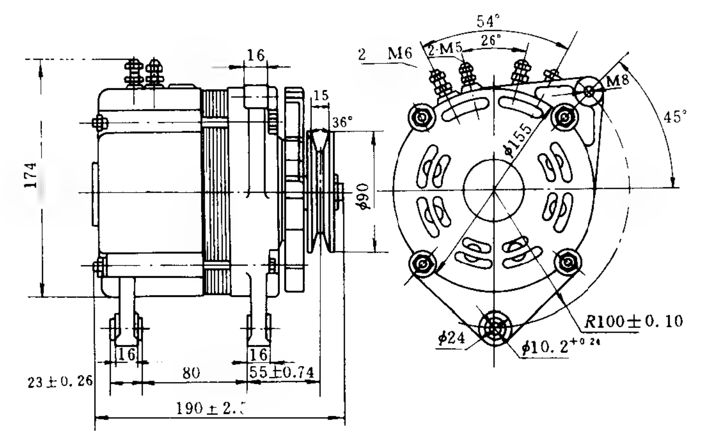


图 2－4　JF173 型有刷交流发电机外形尺寸图

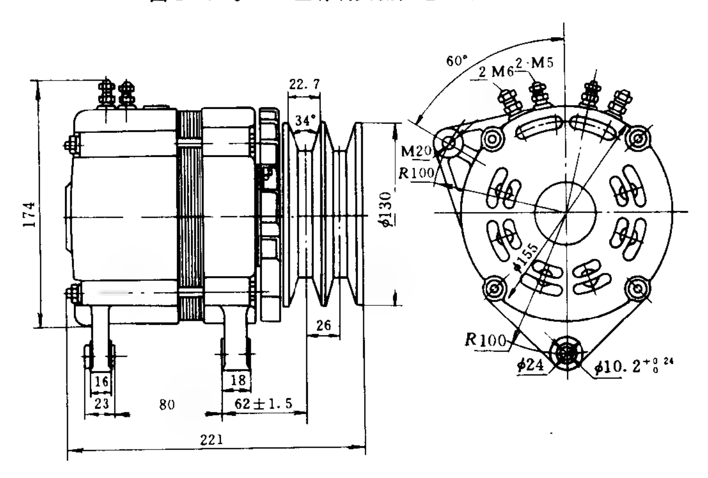


图 2－5　JF2812Y 型有刷交流发电机外形尺寸图

图 2－7 为与上海桑塔纳轿车、奥迪 100 轿车配套的 JFZ1813Z 型整体式交流发电机外形尺寸图。

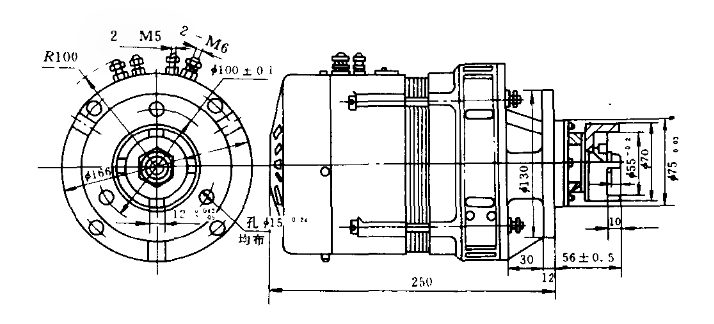


图 2－6 JF1000－1、JF1000N－1 型有刷交流发电机外形尺寸图

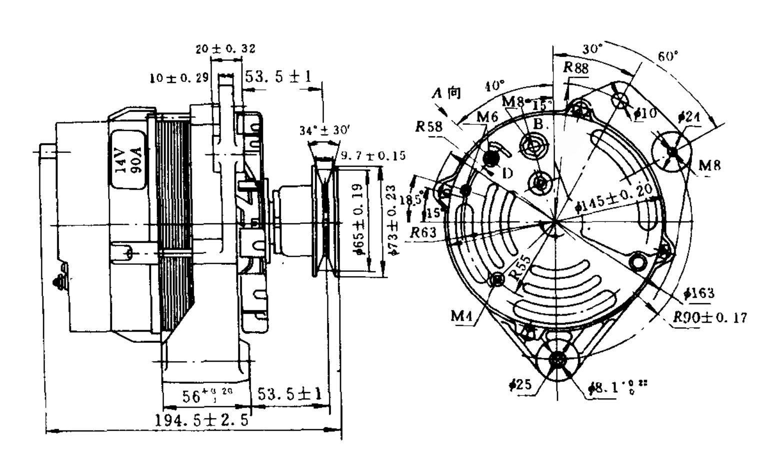


图 2－7 JFZ1813Z 型整体式交流发电机外形尺寸图

图 2－8 为 JFZ1514Y 型整体式交流发电机外形尺寸图。

上海汽车电器总厂生产部分整体式交流发电机详见表 2－4。

表 2-4 上海汽车电器总厂部分整体式交流发电机规格参数

发电机型号	标称电压/V	额定电流/A	额定转速/(r·min⁻¹)	调节器型号	安装方式	适用机型、车型
JFZ1211Z	14	14.5	3 500	JFT1403	单挂脚	495A(上内)
JFZ1211Y						4100(上内)
JFZ1212Y					双挂脚	3100、4100(一拖)
JFZ1311Z		25			单挂脚	4120、6120(无柴)
JFZ1311Y						4900(上海)、495(新昌)
JFZ1312Y					双挂脚	6100(一拖)
JFZ1317Y					单挂脚	395A(上海)、4100A、495A
JFZ1514Y		36	4 800		双挂脚	SH7231、SH1020
JFZ1514Z						492Q(沈发)
JFZ1714		45	6 000	9RC2044		依维柯轻型车
JFZ1813Z		55	4 800	JFT1403	单挂脚	轻型车、高尔夫轿车、广州标致
JFZ1813ZB		72				682Q 旅游车
JFZ1813Z		90	6 000	9RC2044		上海桑塔纳、奥迪100轿车
JFZ2312Y	28	12.5	3 500	JFT2403	双挂脚	4100(一拖)
JFZ2512Z		18	3 500			B6135(上柴)
JFZ2514		20	5 000		双挂脚	江门SF系列
JFZ2712B		25	3 500		双挂脚	6100(大柴)、CA141
JFZ2711ZB		27	6 000		单挂脚	斯太尔载重车
JFZ2811		36	6 000		单挂脚	C6114ZQ(上柴)

图 2-9 为北京市汽车电器厂生产的 JFZ171 型整体式交流发电机外观图，图 2-10 为 JFZ192 型整体式交流发电机外观图。表 2-5 为北京市汽车电器厂生产的部分有刷交流发电机规格参数。

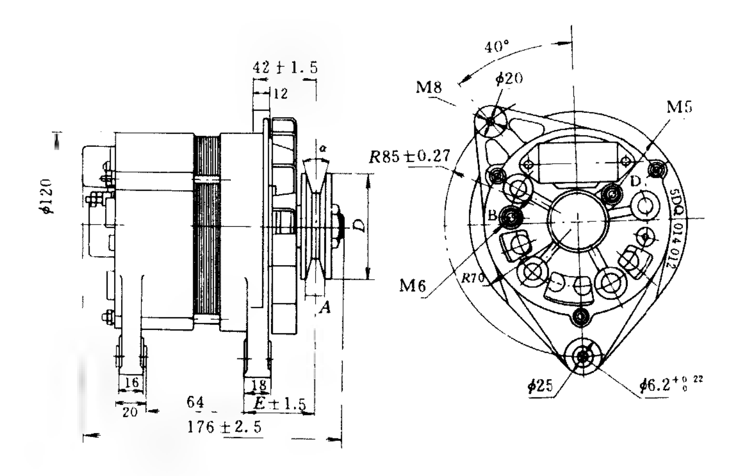


图 2-8　JFZ1514Y 型整体式交流发电机外形尺寸图



图 2-9　JFZ171 型整体式交流发电机外观图

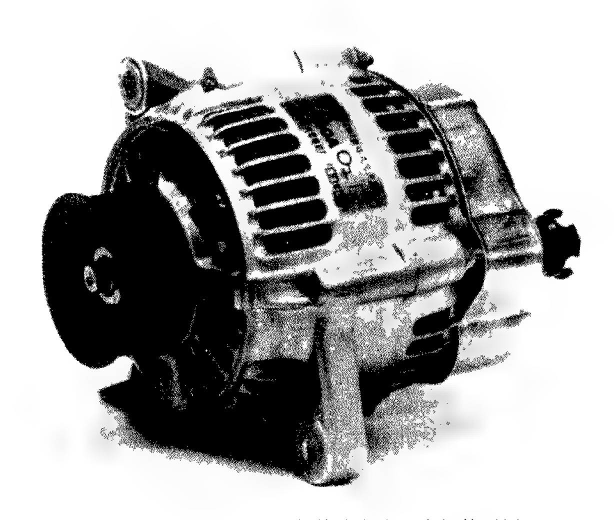


图 2-10 JFZ192 型整体式交流发电机外观图

表 2-5 北京市汽车电机厂部分有刷交流发电机规格参数

型号	空载		负载			调节器型号	适用范围
	电压/V	转速/(r·min⁻¹)	电压/V	电流/A	转速/(r·min⁻¹)		
JF132E	14	≤1 000	14	25	≤2 500	FT61	BJ212 BJ121
JF13E	14	≤1 000	14	25	≤2 500	FT61	BJ130 492Q
JF152E	14	≤1 150	14	35	≤5 000		BJ212、BJ121 BJ130、492Q
JF152E2	14	≤1 150	14	35	≤5 000		沈发 492Q、 SY130
JF132C	14	≤1 000	14	25	≤2 500	FT61	CA10(双槽)
JF13C	14	≤1 000	14	25	≤2 500	FT61	CA10(双槽)
JF132D	14	≤1 000	14	25	≤2 500		EQ140
JF152D	14	≤1 150	14	35	≤5 000		EQ140
JF13D	14	≤1 000	14	25	≤2 500	FT61	CA10(单槽)

续表

型　号	空　载		负　载			调节器型　号	适用范围
	电压/V	转　速/(r·min^{-1})	电压/V	电流/A	转　速/(r·min^{-1})		
JF133D	14	≤1 150	14	35	≤5 000	JFT142B	492QA$_2$
JF133F	14	≤1 150	14	35	≤5 000	JFT142B	492QA$_2$
JF133E	14	≤1 150	14	35	≤5 000	JFT142B	492QA$_2$
JFZ141	13.5	≤1 100	13.5	≥40	5 000	内装式	475 发动机三菱工具车
JFB151	13.5	≤900	13.5	≥50	5 000	内装式	493 发动机 五十铃 N 系列车
JFZ171	14	≤1 200	14	≥61	6 000	内装式	北内切诺基吉普车
JFZ171A	14	≤1 200	14	≥61	6 000	内装式	北京 GM2.0L 发动机
JF182	14	≤1 200	14	≥65	6 000	外装式	北内 100Q 发动机
JFZ183	13.5	≤1 200	14	≥65	6 000	内装式	北内 100Q 发动机
JFZ191	14	≤1 200	14	≥74	5 000	内装式	北内 GM2.0L 发动机
JFZ191A	14	≤1 200	14	≥74	5 000	内装式	北京切诺基吉普车
JFZ192	13.5	≤1 250	13.5	≥90	5 000	内装式	北京切诺基吉普车
JFZ193	14	≤1 200	14	≥90	5 000	内装式	北内 GM3.3L 发动机

图 2－11 为上海汽车电器总厂生产的拖拉机用封闭式 200 W 有刷交流发电机外形尺寸图，表 2－6 为其外形尺寸。表 2－7 为 JF1211Z、JF1211Y 型有刷交流发电机规格参数。

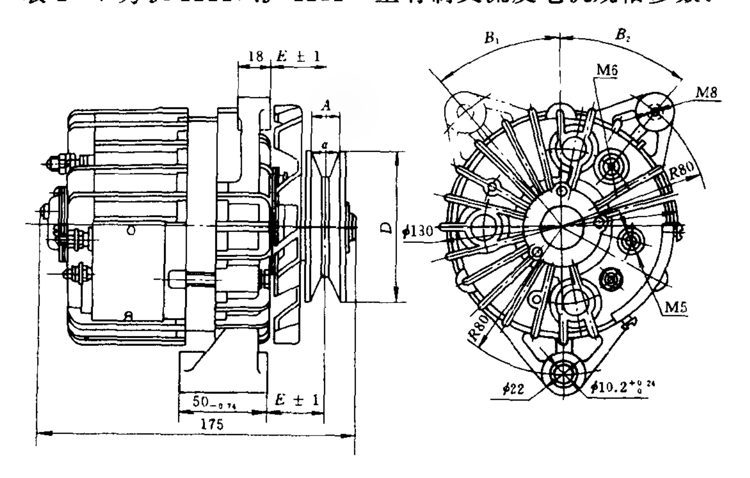


图 2－11　JF1211Z、JF1211Y 型有刷交流发电机外形尺寸图

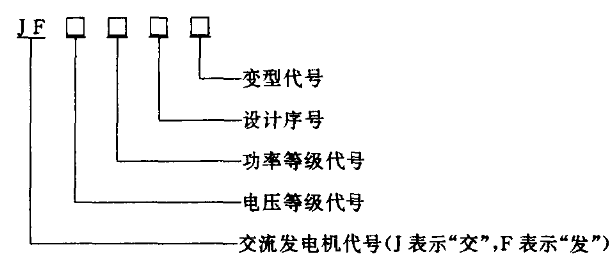
表 2－6　图 2－11 标示尺寸(mm)

<table>
<tr><th>发电机型号</th><th>L</th><th>R_1</th><th>R_2</th><th>R_3</th><th>B_1</th><th>B_2</th><th>E</th><th>D</th><th>A</th><th>α</th><th>皮带轮代号</th></tr>
<tr><td rowspan="2">JF1211Z
(2JF200)</td><td rowspan="3">175</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="3">80</td><td rowspan="2">80</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">40°</td><td rowspan="3">30</td><td>95</td><td rowspan="3">17</td><td rowspan="3">36°</td><td>B95－3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">85</td><td>B85－2</td></tr>
<tr><td>JF1211Y
(2JF200A)</td><td>80</td><td></td><td>40°</td><td></td><td>B85－2</td></tr>
</table>

表2－7　JF1211Z、JF1211Y 型有刷交流发电机规格参数

发电机型号	额定功率/W	空载		满载			质量/kg	调节器型号	皮带轮代号	配套主机	主要适用车型
		电压/V	转速/(r·min^{-1})	电压/V	电流/A	转速/(r·min^{-1})					
JF1211Z(2JF200)	200	14	1 100	14	14.5	3 500	3.4	FT111	B85－2	495A 柴油机	上海 50(拖内)
										295 柴油机	泰山 25 拖拉机
										190 柴油机	
										195 柴油机	翻斗车(武汉)(大连)
									B95－3	395 柴油机	
JF1211Y(2JF200A)	200	14	1 100	14	14.5	3 500	3.4	FT111	B85－2	4100	新上海 50 拖拉机

汽车、拖拉机交流发电机型号目前一般编制方法如下：



发电机电压等级和功率等级代号按JB 1546—75《汽车、拖拉机用电器产品型号编制方法》规定列于表2-8、表2-9。

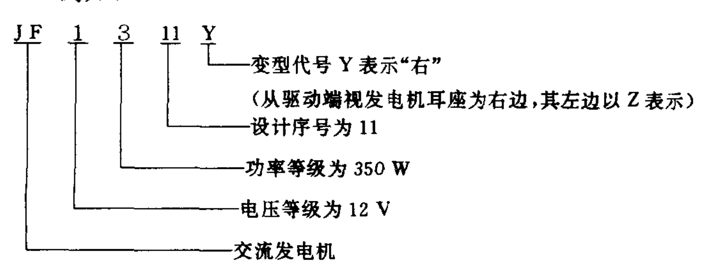
表2-8 发电机电压等级代号

代　　号	1	2	6
电压等级/V	12	24	6

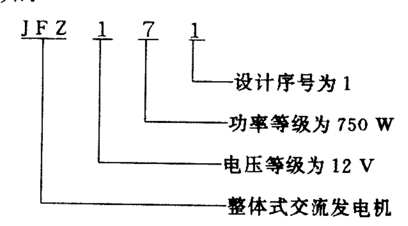
表2-9 发电机功率等级代号

功率等级/W　代号 产品	1	2	3	4	5	6	7	8	9
交流发电机	180	250	350		500		750	1 000	1 000以上
永磁交流发电机	40	60	100						

例如：

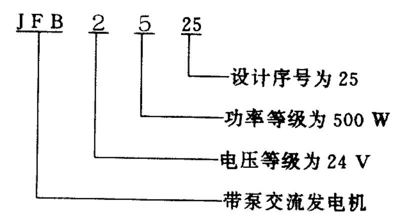


在交流发电机代号后面加“Z”表示整体式交流发电机，例如：



(J表示“交流”,F表示“发”,Z表示“整体式”)

在交流发电机代号后面加“B”表示带真空泵的交流发电机，例如：



(J表示“交流”,F表示“发”,B表示“真空泵”)

发电机的安装位置应注意便于发电机的安装和拆卸，有利于发电机的冷却以及尽可能远离发动机的发热装置。

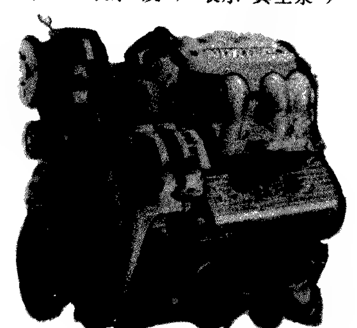


图2-12 交流发电机安装在发动机上的外观图

图2-12为交流发电机安装在发动机上的外观图。汽车拖拉机交流发电机的安装方式，一般分为单挂脚(图2-13(a)(b))、双挂脚(图2-14)和凸缘固定式等。前二种安装方式较

普遍，后一种较少见，JF1000－1、JF1000N－1型交流发电机为此种安装方式。交流发电机支架一般用钢板冲压成形或铸钢加工。图2－13(a)所示的单挂脚方式，交流发电机安装在支架内，用一根螺栓固定支架两端。这种支架结构较简单、安装方便。其缺点是交流发电机挂脚在其支架间可能有间隙，这个间隙的存在会使交流发电机运行时歪斜，引起发电机挂脚孔及皮带的磨损加剧。因此，如果有间隙应采用垫片调整。图2－13(b)所示的交流发电机支架结构可以克服上述结构的缺点。这种支架的装配，由于可以调整，发电机挂脚与支架间不出现间隙，因此交流发电机运行时不致歪斜。图2－14所示是交流发电机双挂脚的固定方式，结构较可靠。如果有间隙，也可用垫片调整。

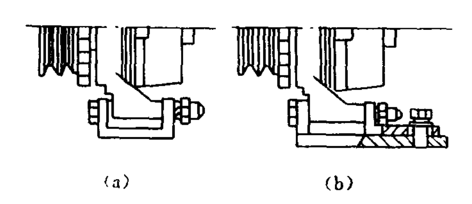


图2－13 交流发电机单挂脚安装方式
(a) 尺寸一定的支架；(b) 可调节的支架

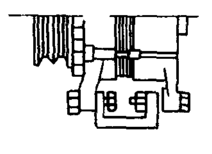


图2－14 交流发电机双挂脚安装方式

汽车、拖拉机交流发电机一般采用皮带传动。其优点是具有弹性、无工作噪声。缺点是尺寸较大、皮带磨损较大，必须经常检查和定期拉紧皮带。

应用皮带传动时，发电机一般除支架固定外，还依靠调整臂固定在发动机上，如图2－15所示。这种调整臂能较自由地移动发电机，并且可调整传动皮带的张力。当在调整臂上固定发电机时，其和交流发电机耳座之间不应有间隙，必要时应用

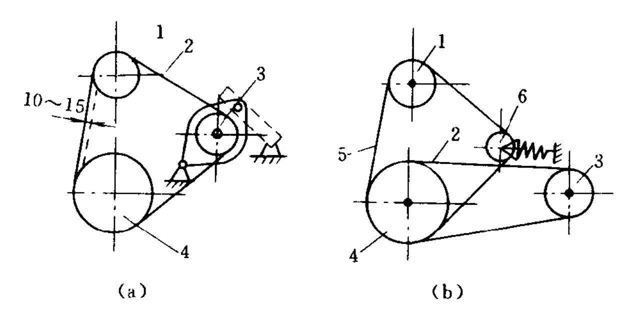


图 2－15 交流发电机的皮带传动

(a) 三角皮带传动；(b) 带压力辊子一皮带传动

1一风扇皮带轮；2一发电机传动皮带；3一发电机皮带轮；4一发动机曲轴皮带轮；5一风扇传动皮带；6一压力辊子

垫片消除间隙。还应注意交流发电机皮带轮与主动皮带轮槽的中心线应对正(轴线不重合度不超过 1 mm)，并且使传动皮带的张力调整到适当的程度。可用手指按压发电机与发动机皮带轮之间皮带的中心，来检查皮带的位移，传动皮带的最佳位移量为 10～15 mm。如果皮带张力太小，发电机皮带将打滑，引起发电机转速降低，因而发电机输出电流下降。当皮带张得太紧时，发电机传动端轴承上的负荷急剧地上升，这将使发电机使用寿命缩短。

另外，汽车、拖拉机交流发电机还采用链条传动和齿轮传动。在链条传动下，交流发电机安装在发动机的台座上，用拉紧带固定。应用齿轮传动时广泛应用的是直接的齿轮传动，发电机轴端直接接到齿轮减速器。在齿轮传动时发电机常用凸缘固定，以保证轴之间精确的距离。

第二节　有刷交流发电机的构造与基本原理

一、有刷交流发电机的基本构造

所谓有刷交流发电机是一种带电刷滑动装置的三相同步交流发电机，由于采用硅二极管整流，因此又称做硅整流交流发电机。考虑到硅整流发电机有有刷与无刷之分，所以将有刷的称为硅整流有刷交流发电机。

在汽车、拖拉机、摩托车上应用的有刷交流发电机由爪极式三相同步交流发电机和硅整流器组成。内装电子式电压调节器的称整体式有刷交流发电机。

这里先介绍 6 管有刷交流发电机的构造。图 2－16 为有刷交流发电机结构的解体图。它由爪极转子、定子、硅整流器、前后端盖、风扇、皮带轮等组成。

（一）爪极转子

有刷交流发电机的爪极转子是发电机产生激磁场的部件，它由轴、二块爪极、激磁绕组和滑环等组成，如图 2－17 所示。两块爪极（一般各有 6 个爪状磁极，按需也可各有 4 个、5 个、7 个磁极等）压装在转子轴上。爪极由 10 号钢精密铸造或冷挤压而成。在两块爪极的空腔内装有磁轭，其上套有激磁绕组。磁轭由 10 号钢或电工纯铁制成，激磁绕组由高强度漆包线绕制而成。滑环由彼此绝缘的两个铜环组成，一般采用酚醛玻璃纤维塑料压成一体，然后将其压到轴上。激磁绕组的两个引出线分别焊在与轴绝缘的铜环上。滑环的外圆表面应平整光滑，以便转子高速运行时其与电刷满足滑动接触要求。当两个电刷与直流电源相接时，激磁绕组中便有激磁电流通过，产生轴向磁通，使得一块爪极被磁化为 N 极，另一块爪极为 S

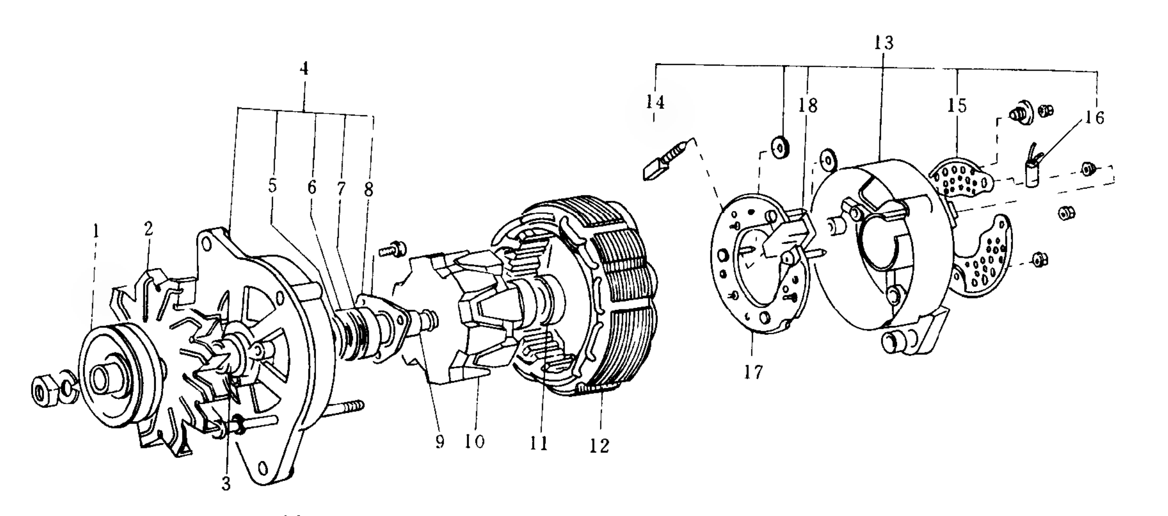


图 2-16　有刷交流发电机的解体图(适用天津华利微型货车)

1—皮带轮;2—风扇;3—挡圈;4—前盖总成;5—毡垫;6—轴承内盖;7—轴承;8—轴承外盖;9—紧圈;10—爪极转子;11—轴承;12—定子;13—后盖总成;14—电刷总成;15—后端罩盖;16—电容器;17—硅整流器;18—刷架

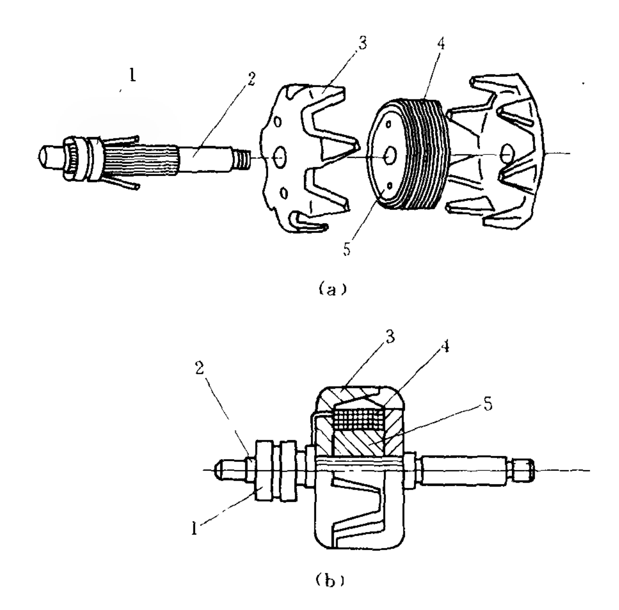


图 2－17 爪极转子的结构

(a) 零件分解图;(b) 投影剖视图

1—滑环;2—轴;3—极爪;4—激磁绕组;5—磁轭

极,从而形成了互相交叉的 N、S 磁极。

采用爪极转子,其优点是不管发电机极数多少,它只有一个集中绕组,工艺结构简单、用铜量小。其主要缺点是爪极转子漏磁较大,其漏磁系数一般为 1.2～1.4 左右。

(二) 定子

有刷交流发电机的定子是发电机产生交流电的部件,又称为电枢。定子由定子铁心与三相绕组组成,如图 2－18 所示。定子铁心由定子片叠压而成。定子片由电工薄钢板冲制而成。为防止磁损失,定子片两侧涂绝缘漆或作氧化处理。定

子片之间叠压后，采用氩弧焊焊牢，或采用铆接。定子铁心的槽内可嵌放三相绕组。汽车、拖拉机的有刷交流发电机定子多采用36槽的铁心，嵌放的三相绕组，每相有6个电枢线圈；功率较大的，如1 000 W以上有刷交流发电机，也有采用42槽的铁心，其嵌放的三相绕组，每相为7个电枢线圈。槽节距一般为1～4，每相之间相位差为120°电角度。三相电枢绕组分布规律，如图2-19所示。图2-20为定子电枢绕组展开图。为提高发电机输出和方便机器嵌线，定子三相绕组还可采用波形绕组，如图2-21所示。

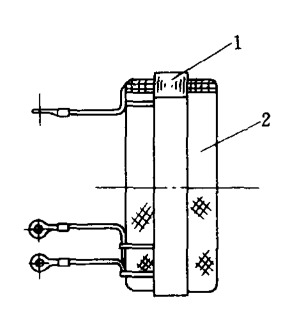


图2-18　定子的结构

1—定子铁心；2—电枢绕组

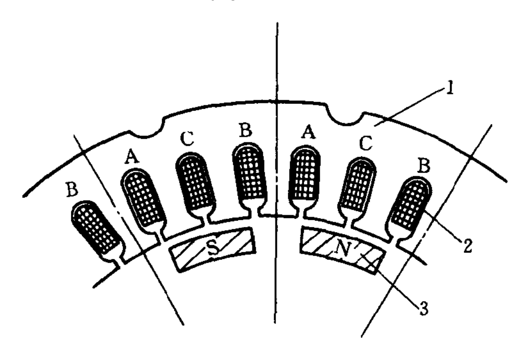


图2-19　三相电枢绕组分布规律

1—定子铁心；2—电枢绕组；3—爪极

（三）硅整流器

汽车、拖拉机、摩托车上应用的有刷交流发电机，在定子绕组中所感应的三相交流电，是通过硅二极管组成的整流器

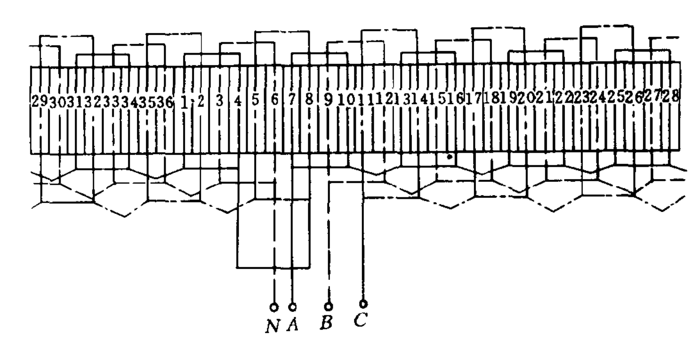


图 2-20　定子绕组展开图

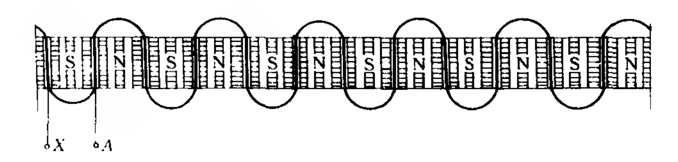


图 2-21　三相电枢波形绕组分布情形(图示仅为一相绕组)

改变为直流电。大多数汽车交流发电机的整流器由 6 个硅二极管与定子三相绕组引线连接成桥式全波整流电路。其中,三个负极二极管(管底一般为黑色或绿色)压装在后端盖上,另外三个正极二极管(管底一般为红色)压装在一块整体的元件散热板上,如图 2-22 所示。元件散热板用铝合金压铸而成,它被装在后盖上,并用绝缘材料制成的垫片与后盖隔开。正极接线柱从元件散热板引到发电机外部,即发电机"+"接线柱;负极接线柱直接从后盖引至发电机外部,即发电机"-"接线柱。发电机发出的交流电经硅整流器整流后的直流电,从交流发电机的正接线柱输出,经车内用电装置到车身,再到发电机外壳形成回路。

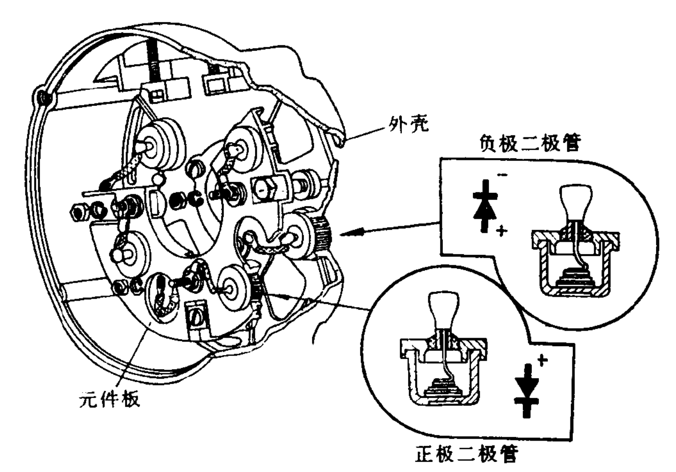


图 2－22　硅整流器与后盖装配的结构

（四）前后端盖

前后端盖均由铝合金压铸而成。采用非导磁材料——铝合金制成的前后盖，可以使爪极式交流发电机漏磁减少，同时具有轻巧、制造工艺性好、散热性良好等优点。为提高轴承孔的机械强度，增加其耐磨性，有的发电机端盖轴承座内镶有钢套。

在后端盖上装有电刷架，它有酚醛玻璃纤维模压而成，或用玻璃纤维增强尼龙制成。两个电刷装在电刷架的孔内，借弹簧压力与滑环保持接触（见图 2－23）。两个电刷的引线分别与后端盖上的磁场接线柱“F”（或“磁场”）、搭铁接线柱“－”（或“接地”）连接。

图 2－24 为 JF1311Z、JF2311Z 型有刷交流发电机结构剖视图。该结构型式为防护式自风扇冷却，其后端盖上有进风口，前端盖有出风口。当皮带轮由发动机曲轴驱动时，交流发电机转子轴上的风扇（用钢板冲制而成）旋转，使空气高速流

经发电机内部进行冷却。该机为单挂脚安装，设计结构紧凑，但其刷架及电刷不能直接在发电机外部进行拆装，如要更换电刷，则必须将发电机拆开。硅整流器安装在发电机后盖内侧，更换硅元件，也必须拆开发电机。

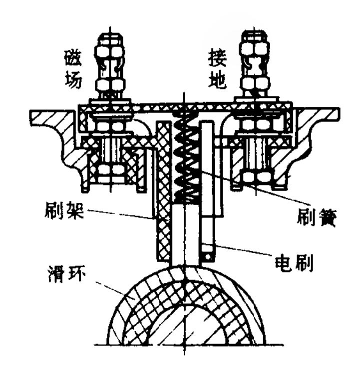


图 2-23 电刷装置的结构

图 2-25 为 JF13、JF23 型有刷交流发电机结构剖视图。该机结构型式为防护式自风扇冷却，单挂脚安装方式。硅整流器也装在发电机后盖内侧，要更换硅元件，必须拆开发电机。但其刷架与电刷可直接从发电机外部拆装。

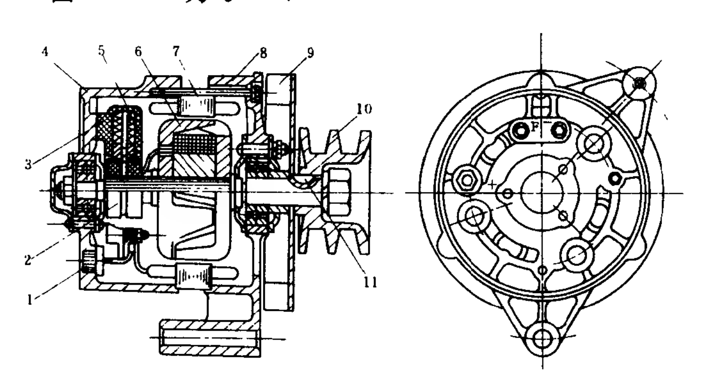


图 2-24 JF1311Z、JF2311Z 型有刷交流发电机结构剖视图
1—硅元件；2—滑环；3—刷架；4—后端盖；5—紧圈；6—爪极转子；7—定子；8—前端盖；9—风扇；10—皮带轮；11—半圆键

图 2-26 所示为硅整流器和电刷装置均在发电机后端盖

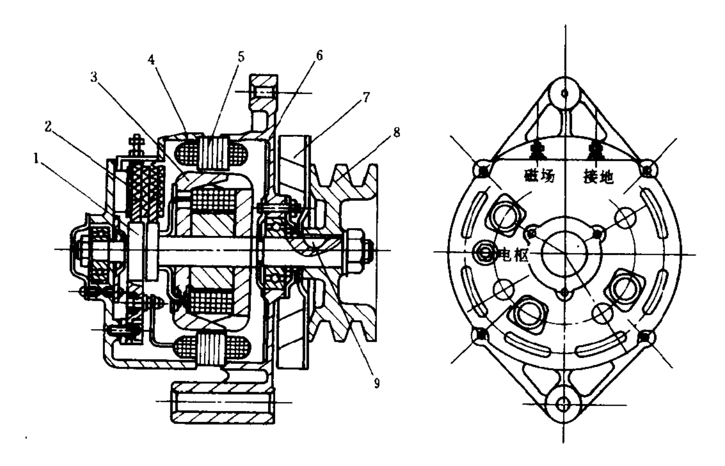


图 2-25　JF13、JF23 型有刷交流发电机结构剖视图
1—滑环；2—电刷装置；3—爪极转子；4—后盖；5—定子；6—前盖；7—风扇；8—皮带轮；9—半圆键

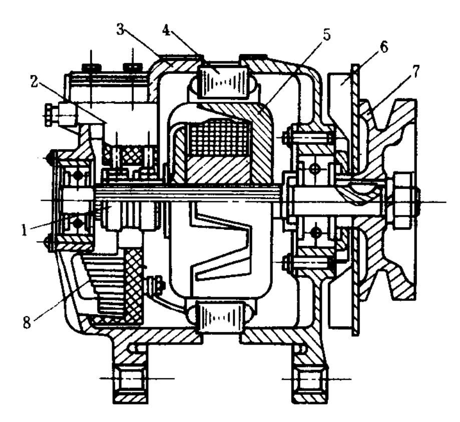


图 2-26　硅整流器电刷装置在后盖外侧的交流发电机的剖视结构
1—滑环；2—刷架；3—后盖；4—定子；5—爪极转子；6—风扇；7—皮带轮；8—硅整流器

外侧的交流发电机结构剖视图。这种结构更换电刷和硅元件较简便，也有利于硅元件的冷却。

对于拖拉机交流发电机，由于其使用环境恶劣，一般采用封闭式结构，即端盖上无通风孔，否则泥浆、污水、灰砂会侵入发电机内部，造成电刷与滑环接触不良加速磨损，或使其它零部件受到腐蚀。封闭式交流发电机由于绕组散热比较困难，所以发电机尺寸较普通型大。例：JF1211Z 型或 2JF200 型有刷交流发电机功率 200 W，其体积与 350 W 有刷交流发电机相同，并且为了加强散热，其前后端盖制有很多散热筋，如图 2-

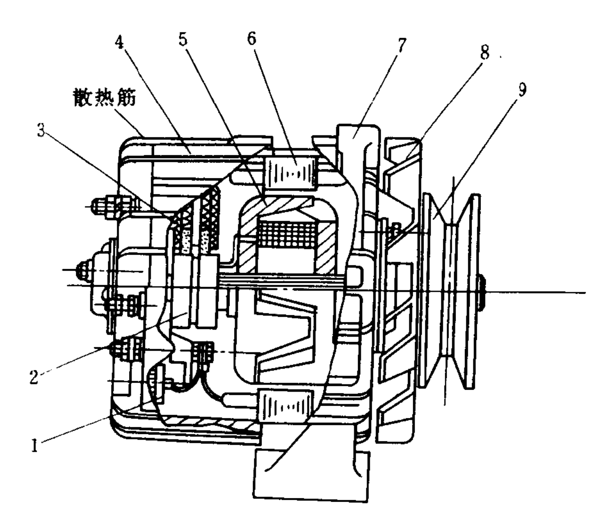


图 2－27　JF1211Z 型有刷交流发电机结构剖视图

1－硅元件；2－滑环；3－刷架；4－后端盖；5－爪极转子；6－定子；7－前端盖；8－风扇；9－皮带轮

27 所示，以增加发电机散热面积；在其驱动端仍装有风扇，加速发电机表面空气的流通，使发电机内部产生的热量传导到外壳后能很快散去，降低发电机内部绕组的温度，并提高发电机使用的寿命。

图 2－28 为 JF1000 型有刷交流发电机结构剖视图。在发动机上采用三孔凸缘安装方式。由于安装位置的限制，其传动采用联轴器。接线方式采用双线制，一个接线柱为正极，另一个接线柱为负极，均与外壳绝缘。电枢线圈线径为 ϕ1.08 mm，双根并绕，线圈匝数为 12，每相串联线圈为 7 个，绕组节距为 1～4，定子铁心槽数采用 42 个槽，爪极转子采用 7 对磁极。电枢绕组采用星形接法。激磁绕组线径为 ϕ0.74 mm，共 1 000 匝。发电机内部有二个风扇，发电机尾部的为轴流式风扇，将冷空气鼓入内部；发电机前面的为离心式风扇，将热气往外排出。

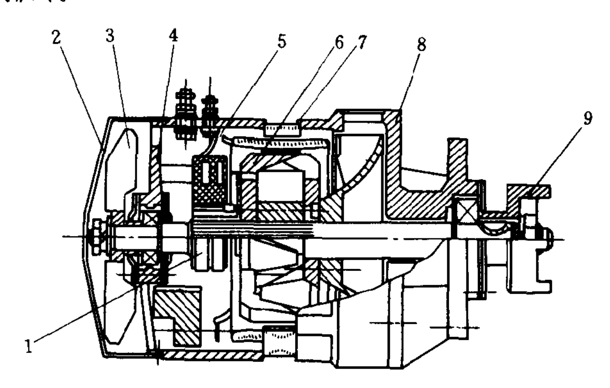


图 2－28 JF1000 型有刷交流发电机结构剖视图

1—滑环；2—后罩盖；3—风扇；4—后盖；5—电刷装置；6—爪极转子；7—定子；8—前盖；9—联轴器

二、有刷交流发电机的基本工作原理

汽车、拖拉机、摩托车上应用的有刷交流发电机是一种特殊电机。要弄懂有刷交流发电机的工作原理，首先要弄懂其爪极转子的激磁场。

在交流发电机空载情况下，爪极转子的激磁场可以单独存在，其总磁通可以分解为主磁通和漏磁通二部分。主磁通即为穿过电枢线圈而感应电势的那部分磁通。漏磁通为未穿过电枢线圈的那部分磁通。

爪极转子激磁回路存在形式与其它电机有本质性的区别。爪极转子通电后激磁线圈产生轴向磁通。此磁通依靠爪极的帮助才转换为径向磁通。其主磁通经过的磁路，如图 2 29 所示。从爪极 N 出发，经气隙、电枢齿（同时穿过电枢线圈）、定子铁心轭部、相邻的电枢齿，再通过气隙，到爪极 S，经过磁轭，再回到爪极 N，而形成主磁通的磁回路。主磁通可用下式求得：

$$\Phi_{\delta_0} = \frac{E_0}{4\kappa_B \kappa_\omega \omega f} \quad \text{(Wb)}$$

式中　E_0——空载电势(V)；

κ_B——磁场曲线的波形系数，正弦波形时 $\kappa_B = 1.11$；

ω——电枢绕组每组匝数；

κ_ω——绕组系数，当 $q=1$ 时，其 $\kappa_\omega = 1$；

f——频率(Hz)。

图 2-29　爪极转子主磁通磁回路

1—定子；2—爪极；3—轴；4—磁轭；5—激磁绕组

交流发电机感应电动势的频率为

$$f = \frac{np}{60}$$

式中　n——发电机转速(r/min)；

p——爪极转子极对数。

汽车、拖拉机、摩托车有刷交流发电机中，1 200 W 以下发电机电枢线圈普遍采用集中绕组，即为每极每相槽数 $q=1$。即 $q=\frac{Z}{2mp}$

式中 m——相数；

p——爪极转子极对数；

Z——齿数（齿数与槽数相等）。

例：有一辆汽车发电机为 36 槽，爪极转子极数为 6，则

$$q=\frac{Z}{2mp}=\frac{36}{2\times3\times6}=1$$

爪极转子的激磁场的分布是以立体状态变化的，这是它的一个显著特征。这是由于爪极转子的磁极是爪状的，其截面大小随着截面位置的变化而变化。其气隙磁感应强度不仅沿转子的圆周是变化的，而且沿转子轴向也是变化的。气隙磁感应强度为

$$B=\frac{\Phi_{\delta_0}}{S_\delta}=\frac{2\Phi_{\delta_0}}{(b_{\max}+b_{\min})l_1}\quad(T)$$

式中 S_δ——空气隙面积（m^2）；

$b_{\max}$，$b_{\min}$——分别为最大和最小爪极宽度（m）；

l_1——定子铁心覆盖下磁极有效长度（m）。

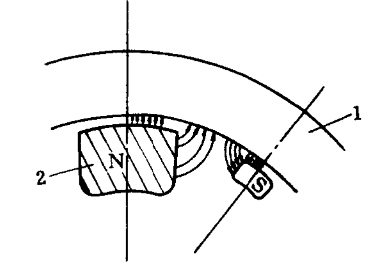


图 2－30 爪极转子主磁通在气隙中沿转子圆周分布状况

1—定子铁心；2—爪极转子

图 2－30 为爪极转子主磁通在气隙中沿转子圆

周分布状况。

图 2－31 为沿爪极转子轴向气隙磁感应分布情形。定子铁心片间是互相绝缘的，它们之间的磁影响较小，而爪极转子的磁极宽度截面是变化的，由图 2－31 中曲线 1 所示，从极宽端至细端磁感应强度逐渐增高。如果适当减小极宽端处的磁感应强度，那么就能使沿电机轴向方向上磁感应的分布均衡（见图 2－31 中曲线 2）。

爪极转子漏磁通由于不切割电枢线圈，因此电枢线圈不产生电动势。爪极转子的漏磁通很复杂，一般可分为爪极转子内侧的漏磁通与其外侧的漏磁通两部分。

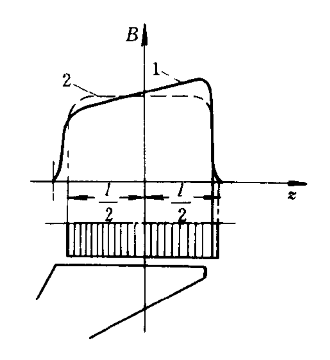


图 2－31 沿爪极转子轴向长度方向上气隙磁感应强度分布情形

爪极转子内侧的漏磁通主要是：

（1）爪极两侧面之间闭合的漏磁通 Φ_{σ_1}；

（2）爪极两斜面之间闭合的漏磁通 Φ_{σ_2}；

（3）爪极与圆柱形的磁轭之间闭合的漏磁通 Φ_{σ_3}；

（4）两爪极导磁盘之间经激磁线圈空间而闭合的漏磁通 Φ_{σ_4}。

爪极转子外侧的漏磁通主要是：

（1）经过定子铁心和两个爪极外端之间的漏磁通 Φ_{σ_5}；

（2）两爪极导磁盘外端面之间的漏磁通 Φ_{σ_6}。

上述各漏磁通中，漏磁通 Φ_{σ_3}、Φ_{σ_4} 很小；漏磁通 Φ_{σ_5} 当正确选择爪极结构时，其值也不大；漏磁通 Φ_{σ_1}、Φ_{σ_2}、Φ_{σ_6} 其值相应较

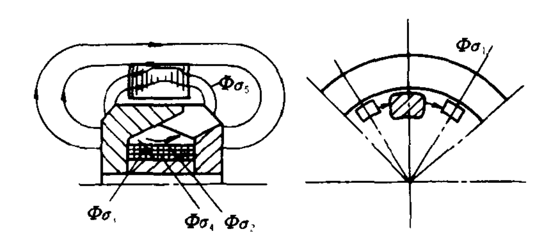


图 2-32　爪极转子漏磁通分布情形

大。爪极转子漏磁通分布情形如图 2-32 所示。

当转子运转时，通入直流电的转子激磁场就形成旋转磁场，它不断地切割定子三相绕组，在三相绕组中感应出三相交流电。而三相绕组是由相互间隔 120°电角度的三个单相绕组所构成。当转子旋转磁场切割 A、B、C 三相绕组时，各相绕组各有交流电通过，但在相位上互差 120°电角度。根据电流周围必有磁场的原理，当交流电流过单相绕组时，在其空间也必然产生一个随交流电大小变化而变化的脉动磁场。因此，这三个相电流分别在 A、B、C 相绕组空间上都各自产生一个脉动磁场。三个脉动磁场在时间上也相差 120°电角度。三相交流发电机实际运行时，A、B、C 三个单相绕组产生的磁场可以看作是逐点叠加而成的合成磁场。由于此合成磁场始终与转子激磁场同转速、同方向旋转，所以这种交流发电机又称为同步发电机。

当发电机带有负载时，电枢磁场对激磁场产生影响，即电枢反应。在发动机带动下，同步发电机转子激磁场不断克服电枢反应的作用，使定子电枢磁场与转子激磁场在空间始终同转速、同方向地保持相对静止关系，从而实现发电机将机械能输入转化为电能输出。

在第一章第三节叙述了理想状态的三相桥式全波整流电路，其假设整流电路的负载是纯电阻的，整流器及其整流作用（正向电阻 $R_{正向}=0$，$R_{反向}=\infty$）是理想的。但是交流发电机整流电路在实际工作时，其整流并非是理想的。图 2－33 为汽车、拖拉机、摩托车有刷交流发电机三相桥式全波整流、并与蓄电池、负载并联的原理图。对于理想状态整流电路，整流桥

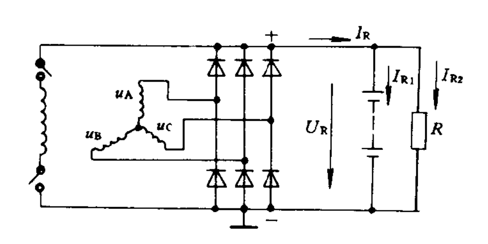


图 2－33　汽车、拖拉机有刷交流发电机电路原理图

的换流，自然在换流点上瞬时完成。然而实际上由于发电机电感元件储存电磁能量，二极管内的电流并非瞬时消失，二极管进入工作的电流也是逐渐增加的，不能突变至 I_R，即二极管的截止或导通都不能瞬间完成。因此，其电流换向需要一个过程。换向区域以换向角 γ 表示，由于换向角的关系，使发电机输出整流电压 U_R 有所降低。应指出是，除换向角影响整流输出外，还应考虑二极管正向电压降与整流电路方案的系数。对于汽车、拖拉机交流发电机用硅二极管，其正向电压降 $U_F=0.5\sim1.2$ V。考虑到整流电路方案影响较小，则三相交流发电机的线电压为

$$U_x=\frac{U_R+2\Delta U_R}{1.35\kappa_\gamma}$$

式中　κ_γ——换向系数，$\kappa_\gamma=\dfrac{1+\cos\gamma}{2}$。

当带硅整流器的三相交流发电机空载时，其 $\kappa_Y=1$，$\Delta U_R=0$，所以其线电压为

$$U_x = \frac{U_R}{1.35}$$

如果在负载情况下，考虑到硅二极管内电流不能突变，则

$$I_R = \sqrt{\frac{3}{2(1-0.0425\gamma m)}}\, I_\Phi$$

其输出功率为

$$P_R = U_R I_R$$

式中 U_R——整流电压平均值(V)；

I_R——整流电流平均值(A)。

第三节 带真空泵的有刷交流发电机

目前，由于柴油比汽油经济实惠，所以柴油汽车深受用户的欢迎。为了改善柴油汽车的制动性能，采用了带泵交流发电机。

在我国长沙、北京、南京、上海等地都有厂家生产带泵交流发电机，国产部分带泵有刷交流发电机规格参数，列有表2-10中。

表2-10 国产真空泵交流发电机规格参数

型 号	标称电压/V	额定电流/A	额定转速/(r·min⁻¹)	适用机型	产地
JFB1502	14	50	≤5 000	五十铃	长沙
JFB151	14	50	≤5 000	五十铃N系列	北京
JF2525	28	18	≤2 500	NJD131	南京
JF1704	14	50	≤5 000	五十铃柴油车	上海
JF1712	14	65	≤6 000	493Q及五十铃4JBI柴油车	长沙

图 2-34 为带真空泵的有刷交流发电机结构图。这种交流发电机是加长转轴，并把前端设计成细齿花键，然后装入真空泵的叶轮，从而把真空泵和交流发电机连成一个整体。当交流发电机转子旋转时，在泵腔内产生真空，并将配套的真空筒抽成相对真空，以此作为真空增力制动装置的动力源。泵体上

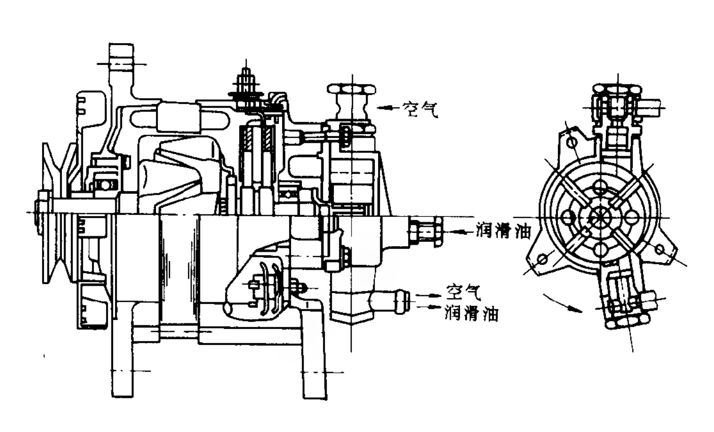


图 2-34 带真空泵的有刷交流发电机

装有单向阀，停机时不会产生降压，保证了真空筒的真空度。真空泵按箭头方向驱动时，泵转子在泵腔内旋转，周期性地将进气管口方面的容积扩大而吸入气体，同时逐渐缩小出气口方面的容积，将已吸入的气体压缩，从出气回油管排出。于是将与进气管连接的真空筒抽成真空。真空泵的润滑是由泵盖的输油口供给的。发动机油进入壳内，循环到各部分，随着空气从出气管排出。

第四节 双爪极式有刷交流发电机

双爪极式有刷交流发电机是在前述单爪极式有刷交流发

电机基础上发展起来的，它们两者的主要区别是转子。图 2-35 为双爪极式有刷交流发电机的转子，其构造是把两个单爪极转子感应器（指爪极转子的激磁线圈、磁轭、两个爪极组成的激磁部分，又可称为激磁器）并联地压装在同一根轴上，然后将两个激磁线圈引出线接到共同的滑环上。应注意的是双爪极式转子上的两个爪极感应器是并联的，两个感应器的彼此同极性爪极在磁轴线上一一重合，如图 2-35 所示。即一个感应器上同为南极（或北极）的各爪极的磁轴线与另一个感应器上同为南极（或北极）的各爪极的磁轴线按对应关系一一重合。为此，在制造这种双爪极式转子时，两个感应器的形状和尺寸应相同，装配时应保证彼此对应的爪极的几何中线重合。双爪极式转子上的两个感应器内激磁线圈的接法，可以根据激磁电压、线圈匝数和线圈绕制方向等关系分别采用并联、串联等接法。

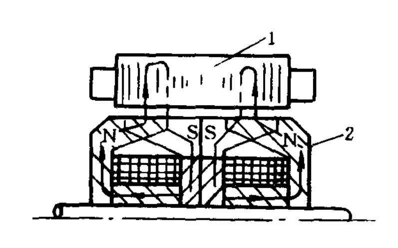


图 2-35 双爪极式交流发电机的主磁路
1—定子；2—双爪极式转子

图 2-35 中还画出了双爪极式转子激磁场的磁路，主磁路由双爪极式感应器并联形式构成：分别从两个感应器各自的 N 极出发，经过气隙、电枢齿（双双穿过电枢线圈）、定子铁心轭部、相邻的电枢齿、再经过气隙、分别回到两个感应器的 S 极，又分别经过各自的磁轭，与各自的 N 极形成回路。

图 2-36 为双爪极式转子激磁绕组的联接方式。从图中可知，在双爪极式转子激磁绕组线头联接时应注意是串联还是并联方式联接，以及其极性是否符合要求。

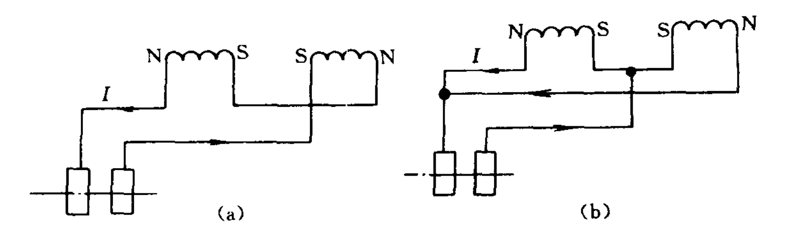


图 2-36 双爪极式转子激磁绕组的联接方式

(a) 串联方式；(b) 并联方式

采用双爪极式转子结构，其优点是使激磁磁通倍增，以利于缩小电机的径向尺寸或提高电机的功率。

第五节 整体式有刷交流发电机

一、概述

整体式有刷交流发电机即内装电子调节器的有刷交流发电机。对于电压调节器为外接式的交流发电机可以采用图形符号，如图 2-37 所示。图中：

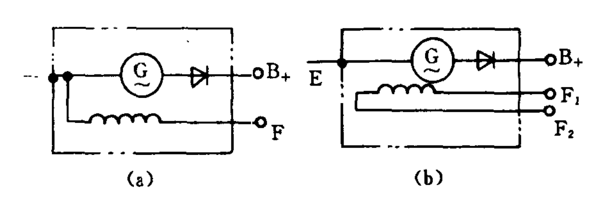


图 2-37 电压调节器为外接式的交流发电机符号图

(a) 内搭铁式；(b) 外搭铁式

B_+——表示交流发电机输出端；

D_+——表示充电指示端；

F——表示磁场接线端；

E——表示负极接线端；

——表示负搭铁；

Ⓖ——表示交流发电机；

〰——表示交流发电机激磁绕组；

⊣▷⊢——表示二极管。

整体式交流发电机，其图形符号如图 2-38 所示。在图中

▷V——表示电压调节器。

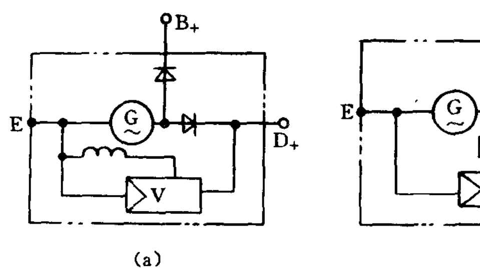


图 2-38 整体式交流发电机符号图

对于带双取样电压调节器的整体式交流发电机，其图形符号如图 2-39 所示。在图中：

S——表示调节器蓄电池取样端（直接接蓄电池正极端）；

IG——交流发电机预激磁端（接点火开关）。

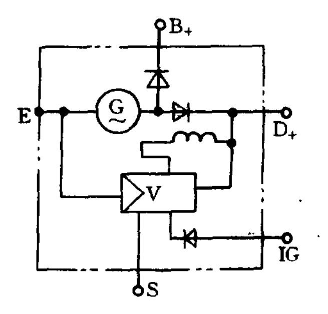


图 2-39 带双取样电压调节器的整体式交流发电机符号图

整体式交流发电机，由于将发电机与电子调节器组

装成一体,结构紧凑,安装和维护方便,减少了接线故障。

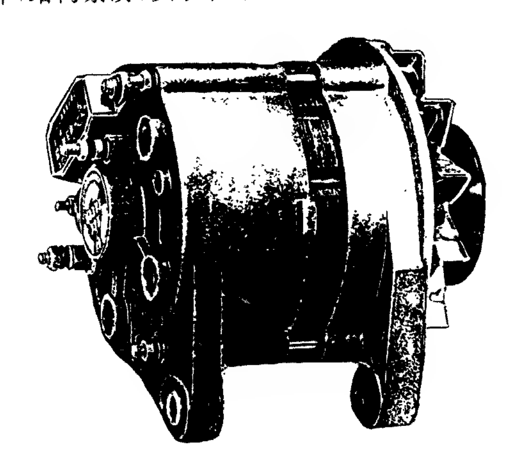


图 2-40　JFZ1514Y 型有刷交流发电机外观图

图 2-40 为 JFZ1514Y 型整体式有刷交流发电机外观图。外形尺寸图见图 2-8。

二、外风扇型整体式有刷交流发电机

图 2-41 为上海桑塔纳轿车、奥迪 100 轿车上使用的 JFZ1813Z 型整体式有刷交流发电机结构剖视图,其安装方式为单挂脚。该机采用了多种先进技术,其结构特点是:

(1) 采用不等分的风扇,减少了发电机高速运转时的噪音,同时叶片厚度从根部向顶部减薄,使其质量减小,从而减小了离心力所产生的应力。

(2) 皮带轮采用先进的旋压工艺,不仅无切削、质量轻,而且提高了精度和平衡性。

(3) 整流元件之间的连接采用了印刷电路板焊接技术,节省了很多紧固件,提高了连接可靠性。采用 8 管硅整流,待

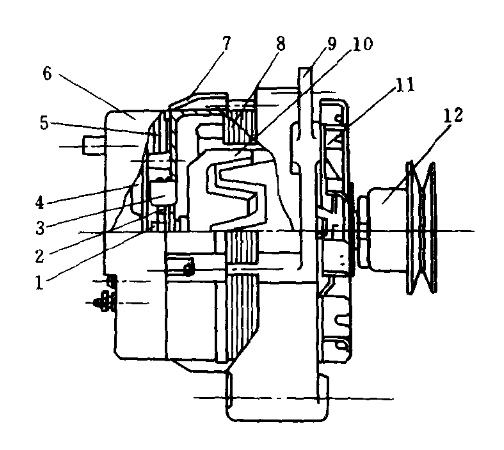


图 2-41　JFZ1813Z 型整体式交流发电机结构剖视图
1—滑环；2—电刷；3—刷架；4—集成电路调节器；5—硅整流器；6—后罩盖；7—后盖；8—定子；9—前盖；10—爪极转子；11—风扇；12—皮带轮

发电机达到一定工作转速，能增加输出功率 15%左右。此外，还有三个功率较小的励磁二极管，分别与负整流二极管组成一个整流电路，保证了交流发电机初励磁和电压调节器供电。

(4) 采用混合式集成电路电压调节器，并与电刷刷架装置连成一体，这样既提高了其工作可靠性，还便于安装与维护。

(5) 安装有高性能抑制电容器，提高了无线电防干扰性能，有利于改善轿车收放机音响效果。

(6) 端盖采取喷丸处理，使整机外观整洁、美观。

(7) 采用进口高速全封闭轴承，保证了交流发电机的高速运转。

(8) 硅整流器、集成电路电压调节器以及电刷刷架装置

组成一个部件，安装于后盖外侧，采用这种结构，可在不拆开发电机前后盖的情况下，调换易损件，便于保养和维修。

上海桑塔纳轿车采用上述整体式有刷交流发电机，其额定电压 14 V，额定电流为 90 A，最大输出为 104 A。一般情况下，在发动机转速达 800 r/min 以上时，充电指示灯熄灭，该发电机即开始向蓄电池充电。该发电机的强化连续工作无故障最短寿命可达德国标准 1 000 h 以上。

图 2-42 为同用途 JFZ1913Z 型整体式有刷交流发电机的分解图。

三、双内风扇双风道型整体式有刷交流发电机

双内风扇双风道的整体式有刷交流发电机是一种结构小型化的整体式有刷交流发电机，这种交流发电机具有输出高、质量轻、结构紧凑等优点。图 2-43 所示为应用于夏利轿车 TJ376Q 发动机上的双内风扇双风道的整体式有刷交流发电机的零部件解体图。该发电机主要技术参数如下：

标称电压和额定输出电流	12 V 和 45 A
13.5 V、5 000 r/min 时输出电流	47 A
最大工作转速	15 400 r/min
电刷标准外露长度	10.5 mm
电刷极限外露长度	4.5 mm
转子滑环间电阻	2.9 Ω
空载调节电压值(25 ℃)	13.9～15.1 V

负载时特性(发动机转速为 2 000 r/min，打开前大灯及鼓风电机)

调节电压值	13.9～15.1 V
电流(大于)	30 A

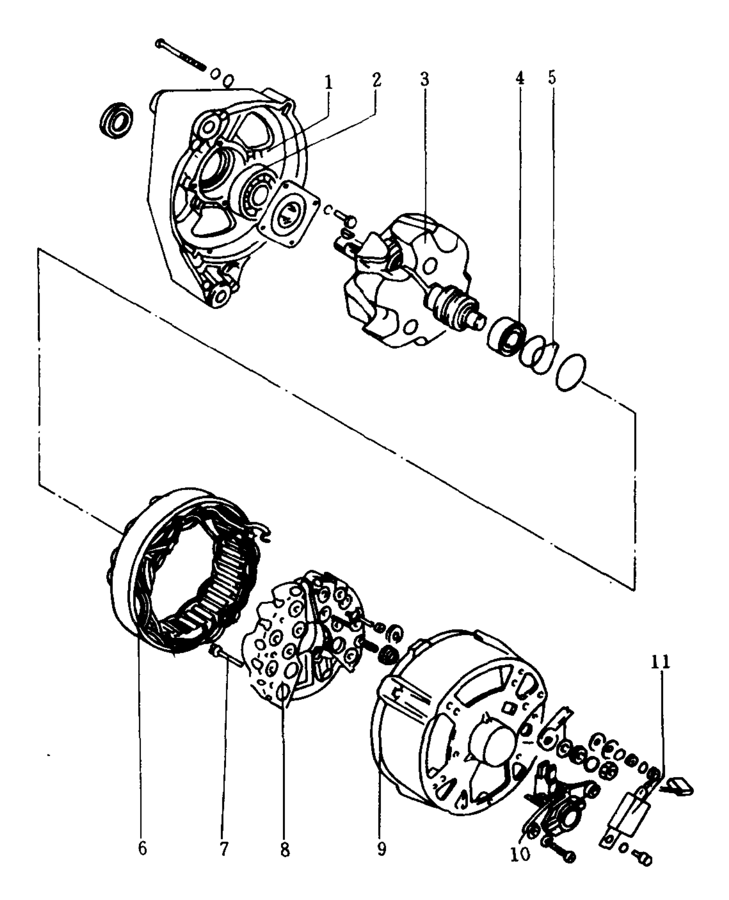


图 2-42　JFZ1913 型整体式有刷交流发电机解体图

1—前端盖；2—轴承；3—爪极转子；4—轴承；5—弹性垫圈；6—定子(电枢)；7—固定螺钉；8—硅整流器；9—后端盖；10—带电刷装置的电压调节器；11—阻尼电容器

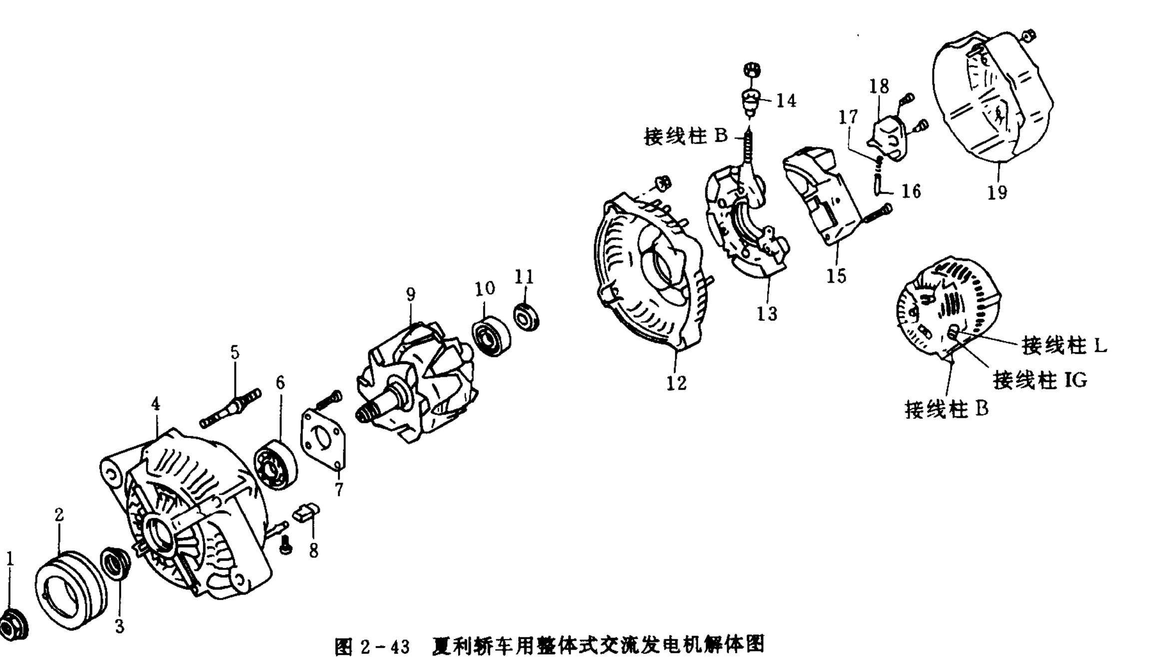


图 2-43　夏利轿车用整体式交流发电机解体图

1—皮带轮锁紧螺母；2—皮带轮；3—隔套；4—前端盖及定子总成；5—双头螺栓；6—轴承；7—轴承压板；8—绝缘套；9—爪极式转子；10—轴承；11—轴承盖；12—后端盖；13—整流器总成；14—接线柱绝缘体；15—发电机调节器总成；16—电刷；17—电刷弹簧；18—电刷架总成；19—后罩盖

图 2－44 所示为双内风扇双风道的整体式有刷交流发电机剖视图及其冷却风流向。其结构特点是：

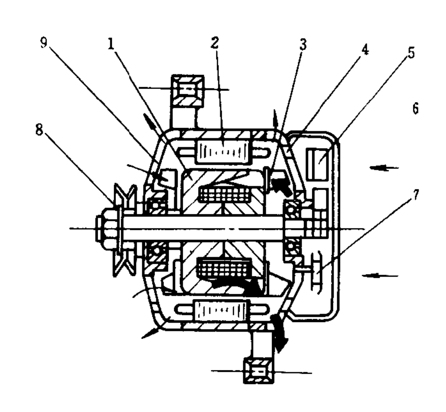


图 2－44　双风扇双风道整体式有刷交流发电机
1—带双风扇爪极式转子；2—定子（电枢）；3—风扇；4—后端盖；5—调节器；6—刷架与电刷；7—硅整流器；8—皮带轮；9—前端盖

（1）爪极转子。由轴、、爪形磁极、激磁线圈、滑环、内风扇等组成。与外风扇型交流发电机不同的是，在爪极转子两侧增加了风扇，并且和爪极转子形成一个整体。采用双内风扇，改善了发电机的风路，减小了噪音。

（2）定子。与一般汽车交流发电机相同，由三相电枢绕组和定子铁心组成。但定子铁心被压进前端盖，组成一体。定子产生的热量由前端盖传导，改善了冷却性能。

（3）前后端盖。为了显著改善冷却，在前后端盖上不仅其轴向，而且径向上增加了许多孔，整流器、刷架、集成电路调节器等均被固定在后端盖上。

（4）硅整流器。增加了二个中性硅二极管，使整流器由 8 个硅二极管紧凑地组成一体。增加中性二极管后，提高了交流

发电机的输出。

(5) 集成电路电压调节器。它是由集成电路和混合电路组成的一个单块整体,被装在交流发电机的内部。为了保证适当的电压控制,该调节器具有温度补偿特性。

双内风扇双风道的整体式交流发电机的风路与众不同,其冷风流向参见图 2-44 箭头所示。这种交流发电机转子上有两个风扇,冷风流向按双风道流动,发电机各处的风速高,冷却效果显著提高。

双内风扇双风道的整体式有刷交流发电机,由于采用上述冷却系统及其它相应一系列改进措施,有利于提高电流密度,与外风扇的交流发电机相比,质量约可减轻 25%。

第六节　有刷交流发电机的特性

一、交流发电机特性术语及代号

要分析交流发电机特性,根据 ZBT 36010—89《汽车用交流发电机电气特性试验方法》标准,一些术语及代号解释如下:

试验电压 U_t(V):测试输出电流时所规定的电压值。

空载转速 n_A(r/min):发电机转速升高至首先开始输出电流时的转速,该转速取决于预激磁功率(输入)、转速变化率,蓄电池电压以及转子中的剩余磁感应。

零电流转速 n_0(r/min):发电机的电压已达到规定的试验电压 U_t,但无电流输出时的转速(在电流—转速特性曲线 $I=f(n)$上,该点与横座标相交)。

最小工作转速 n_L(r/min):一般 n_L=1 500 r/min,相当于发动机怠速时发电机的转速。

额定转速 n_R(r/min)：发电机输出额定电流 I_R 时的转速。该转速由产品标准规定。

最小工作电流 I_L(A)：发电机在试验电压 U_t、转速 n_L =1 500 r/min时的输出电流。

额定电流 I_R(A)：发电机在试验电压 U_t、额定转速 n_R 时输出的最小电流(额定电流值由发电机制造厂规定，并应在发电机铭牌上标明)。

最大电流 I_{max}(A)：发电机在试验电压 U_t、最高连续工作转速 n_{max}(该转速由发电机制造厂工厂标准规定)时的输出电流。

二、自激条件与激磁方式

对于电磁激磁的爪极式硅整流交流发电机，其自激建立电压应满足如下条件：

(1) 电机应有剩磁。如果电机没有剩磁，就不能产生剩磁电压，这样建立电压初期所需的激磁电流不可能产生，自激建压就无从开始，也就谈不上逐步升压与逐步增加激磁电流。

(2) 流过激磁绕组时的电流，其流向应能加强剩磁磁场，否则就不能自激。

(3) 电机转速应高于临界值。其转速过低，同样建立电压初期不能产生所需的激磁电流，自激建压也就无从开始。

(4) 激磁电路的电阻应低于电机自激的临界电阻。

激磁电路可以用公式表示：

$$R_{激} = r_{激} + r_{调} + r_{整}$$

式中 $R_{激}$——发电机激磁电路电阻(Ω)；

$r_{激}$——发电机激磁绕组电阻(Ω)；

$r_{调}$——自激时激磁电流流过电压调节器的电阻(Ω)；

$r_{整}$——硅整流器动态电阻(Ω)。

在发电机自激时,电压调节器的电阻应尽可能小些,在自激过程中 $r_{激}+r_{调}=$常数,而硅整流器的电阻则是一个变值,取决于所加的电压值和流过整流器的电流值。由于发电机自激过程开始时,加在整流器的电压(或流过整流器的电流)最小,而 $r_{整}$ 最大;当自激过程终止时,电压(或流过整流器的电流)增大,而 $r_{整}$ 最小。因此,在发电机自激开始时,剩磁若太小,激磁电路电阻大于临界电阻,则发电机就不能自激。

这种交流发电机的缺点是硅整流器电阻在发电机自激开始时,其电阻过大,发电机自激困难。为了克服这一缺点,在试验和应用时采用对其激磁绕组外加一个电源,使其流过一个激磁电流,进行激磁,即采用他激法。

通过激磁绕组的激磁电流产生激磁场的交流发电机,在使用时总是与蓄电池并联的。在发电机怠速时,蓄电池向激磁绕组供电,进行激磁,随发电机转速的增大,发电机的端电压逐渐上升,如图 2－45 虚线所示。此时发电机处于他激阶段。当发电机转速上升到某一数值,经整流后的直流电压 U 与蓄电池的端电压 U_C 相等时,发电机激磁绕组由本身定子电枢绕组产生的感应电动势经整流后供电,此时发电机由他激发电机转换为自激发电机,且随着转速继续上升,发电机端电压也随着增大。

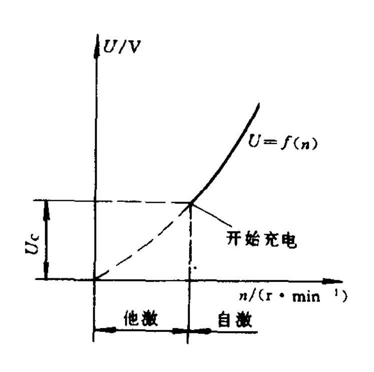


图 2－45 建立电压的过程

三、试验电路及要求

图 2－46 为整体式交流发电机试验电路。实验导线应符合如下要求：发电机输出端接线柱至蓄电池“＋”极接线柱间的电阻不得超过 0.007 Ω，发电机机壳和蓄电池“－”极接线柱间的电阻不得超过 0.003 Ω。

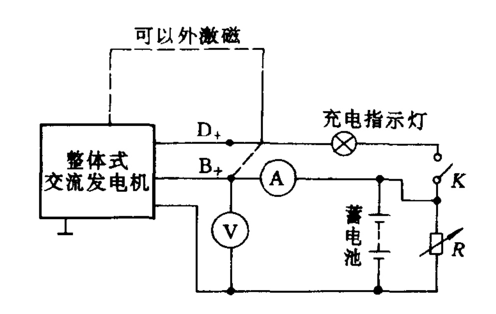


图 2－46　整体式交流发电机试验电路

对于配装外接电子式电压调节器的交流发电机工作性能试验时，调节器的电源端应直接接到交流发电机的 B_+ 端，且试验电路电阻应符合上述规定。如不带电压调器进行试验，在发电机磁场回路中应串入一个压降相当于 1.5 V（在最大激磁电流下）的电阻，见图 2－47 所示。试验电压为 13.5 V（12

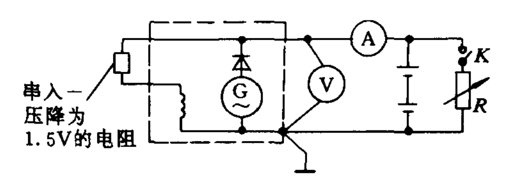


图 2－47　不带电压调节器时交流发电机试验电路

V 系统)或 27 V(24 V 系统)。采用外接式调节器时,调节器搭铁与发电机机壳间的电阻不得超过 0.003 Ω,调节器其余连线的总电阻不得超过 0.005 Ω。

四、电流输出特性

当交流发电机保持端电压 U_t 一定时,测出的输出电流与转速的关系,即 $I=f(n)$,称为交流发电机的电流—转速特性,或电流输出特性。

交流发电机电流—转速特性,具有下列几个关键点:

(1) 空载转速 n_A 点。逐渐增加发电机转速直到充电指示灯亮时,记录其转速。充电指示灯额定值会影响空载转速,除另有要求外,充电指示灯额定值为 2 W。

(2) 零电流转速 n_0(间接测定)点。降低发电机转速直到输出电流介于额定电流的 5%和 2 A 之间时,记录其转速和输出电流。以此测定点为依据,将电流-转速特性曲线延长与横座标相交,该交点的转速即为零电流转速。图解外延法应在完成各项测试后进行。

(3) 1 500 r/min 时的输出电流,即最小工作电流 I_L。调整发电机转速达到 n_L=1 500 r/min 时,记录其输出电流。

(4) 额定电流 I_R。调整发电机转速达到额定转速时,记录其输出电流。

(5) 最大电流 I_{max}。调整发电机转速达到发电机制造厂规定的最大转速 n_{max}时,记录其输出电流。

交流发电机特性曲线测定时的试验条件如下:

(1) 试验应在室温 23 ℃±5 ℃的条件下进行,温度偏移应有记录,记录的温度是进风前温度,其基准点应离发电机进口 5 cm 处。

(2) 在试验电路中，蓄电池应并联一个变阻器 R（如图 2-46）。

(3) 试验时，应使用具有符合标准电压和标准电流值的铅酸蓄电池，其容量值应不低于发电机额定电流值的 50%，用 A·h 表示。蓄电池应充电饱和。

(4) 试验仪表的精度应符合表 2-11。

表 2-11 试验仪表精度

参 数	电压	电流	转速
精度要求	±0.5%	±0.5%	±1%

(5) 整个试验过程，应通过调节变阻器 R 保持试验电压 U_t 稳定。

(6) 发电机试验应配有电压调节器，但测交流发电机特性时，为了阻止调节器发生调节作用，试验应在下述试验电压 U_t 下进行：

13.5 V±0.1 V　　适用于 12 V 系统

27 V±0.2 V　　适用于 24 V 系统

交流发电机电流—转速特性测定方法如下：

按图 2-46 或 2-47 试验电路联接。断开开关 K，把变阻器 R 置于最大值，然后合上开关 K，逐步提高转速。当发电机开始自激，并向外输出电流时，调整发电机的转速，使发电机的电压稳定在额定值（带电压调节器将自行稳定在额定值），然后逐渐减小变阻器 R 的阻值，每减小一次电阻（即负载电阻），使电压保持在额定值，测量其输出电流并记录其转速与电流值。试验时应顺序采用下列转速（允许增加转速测量点，测量点越多，曲线越精确）：

2A 时的转速（约 1 000 r/min）、1 500、2 000、2 500、

3 000、4 000、5 000、6 000、9 000、12 000 r/min 或 n_{max}(r/min)。

根据上述转速和相应的输出电流值,即可绘制出交流发电机电压恒定时转速与输出电流的关系曲线,即发电机电流—转速特性曲线。

如果上述发电机电流转速数据是在每一个转速定子温度达到稳定时记录的输出电流值,此曲线即为发电机热态电流-转速特性。由图 2-48 电流-转速特性可知,交流发电机的端电压保持不变时,随着转速的增加,交流发电机输出电流也逐渐增大。当转速增加到某一数值后,交流发电机的输出电流不再继续上升,此时的电流数值为交流发电机的最大输出电流。由于交流发电机本身有限制输出电流的作用,因而使用这种交流发电机不需要限流器。交流发电机这种输出特性,对车辆来说是非常适用的。否则,如果像直流发电机那样不加限流

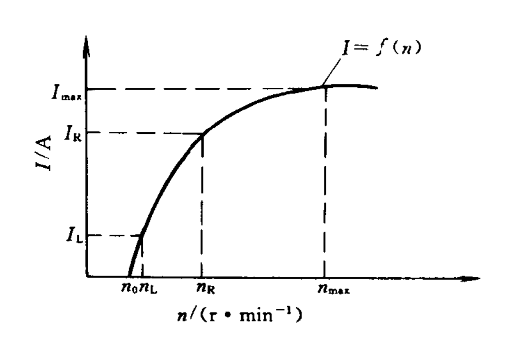


图 2-48 电流-转速特性

器,其电流与转速成正比增加,将会出现故障,引起超载甚至烧毁。

图 2-49 为部分有刷交流发电机电流输出特性。图 2-50 为部分整体式交流发电机输出特性。

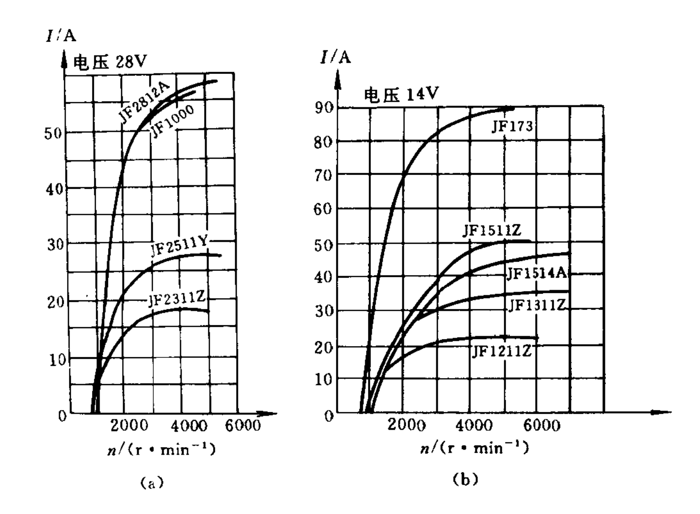


图 2－49　部分有刷交流发电机电流输出特性

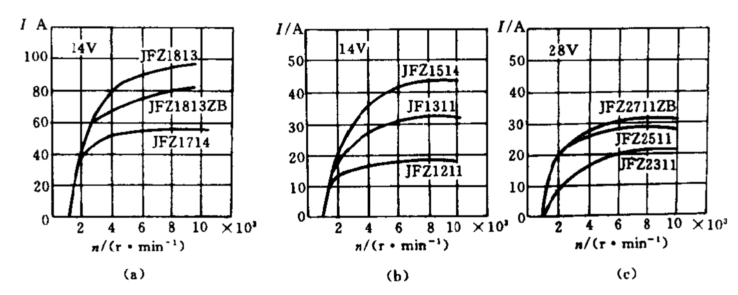


图 2－50　部分整体式交流发电机电流输出特性

第七节　硅整流元件与硅整流器

一、什么是半导体

自 1948 年第一个晶体管问世以来，半导体技术有了飞跃

的发展。由于半导体器件具有质量轻、体积小、耗电少、寿命长、工作可靠等优点，在现代工农业、现代科学技术和现代国防中获得了广泛的应用。

我们周围的物质，按导电性能有导体、半导体和绝缘体之分。银、铜、铁等金属，它们的导电性能很高，称导体；瓷器、塑料、橡皮等，其导电性能极差，称绝缘体；导电性能介于导体与绝缘体之间的物质，称半导体，如硅、锗、硒等。

二、半导体的特性

半导体器件之所以得到广泛应用，其原因不在于它的导电能力介于导体和绝缘体之间，而在于它的导电能力在不同条件下有很大差别。这是半导体区别于其它物质的特殊性。例如半导体对温度的反应很灵敏，环境温度增高时，它的导电能力显著增强。利用这种特性，就成了各种热敏元件。又如有些半导体受到光照时，它的导电能力变得很强；当无光照时，又变得像绝缘体那样不导电。利用这种特性就做成了各种光电元件。

更重要的是，如果在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后，它的导电能力就可以增加几十万乃至几百万倍。例如在纯硅中掺入微量的硼后，硅的电阻率就从 $2.14\times10^{3}\ \Omega\cdot m$ 减小到 $4\times10^{-3}\ \Omega\cdot m$ 左右。利用这种特性就做成了各种不同用途的半导体器件，如二极管、三极管、可控硅等。

三、半导体的导电方式

世界上的所有物体都是由分子组成，分子由原子构成。每个原子由带正电的原子核和带负电的电子组成，电子分层分布，并围绕原子核旋转运动。原子核所带正电的数量刚好与外

面电子所带负电的总数量相等，这时整个原子在正常情况下是显示不出带电的。靠近原子核的内层电子被束缚得很紧，不容易离开原子核而自由运动；离开原子核较远的外层电子，则不容易被束缚住而可能离原子核自由活动。这些脱离原子核束缚而自由活动的电子称为自由电子。在金属导体中，由于原子的最外层电子受原子核的束缚力很小，大量电子很容易脱离原子核的束缚而成为自由电子，因此金属的导电能力很强。而绝缘体中，不论内、外层的电子都被束缚得很紧，自由电子数量很小，可以忽略不计，因此基本不导电。

半导体的导电性能与它的原子结构及其原子间的结合方式有关。图 2-51 是锗和硅原子结构示意图。它们外层各有四个电子，将锗或硅材料提纯(去掉无用杂质)并形成单晶体后，原子便基本上整齐排列，其如图 2-52 所示。半导体一般都具有这种晶体结构，所以半导体也称为晶体，这就是晶体管由来。

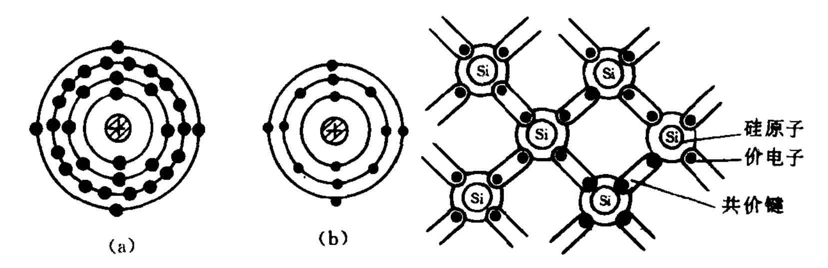


图 2-51　锗和硅的原子结构

(a) 锗 Ge；(b) 硅 Si

图 2-52　硅单晶中的共价键结构

在半导体的晶体结构中，每一个原子与相邻的四个电子结合。每一个原子的一个外层电子与另一个原子的一个外层电子组成电子对。这对电子是每两个相邻原子共有的，它们把

相邻的原子结合在一起，构成共价键的结构。在共价键结构中，原子最外层虽具有八个电子处于较为稳定的状态，但是共价键中的电子还不像在绝缘体中被束缚得那样紧。在外界（温度、光照、电场）作用下，共价键中的电子即可脱离原子核的束缚，成为自由电子。作用能量愈大，晶体中产生的自由电子愈多。在电子脱离共价键的束缚成为自由电子后，共价键中就留下一个“空穴”。如图 2－53 所示。带正电的有空穴的原子就可以吸引相邻原子中的外层电子填补这个空穴。于是，在失去了一个外层电子的相邻原子的共价键中出现另一个空穴，它也可以由相邻原子中的外层电子来填补，而在该原子中又出现一个空穴。如此继续下去，就好像带正电的空穴在移动。

因此，当半导体两端加上电压时，半导体中将出现两部分电流：一是自由电子作定向运动所形成的电子电流，一是仍被原子核束缚的外层电子递补空穴而形成的空穴电流。所以空穴电流也是由于电子的运动而形成的，但也可认为它是带正电的空穴向相反方向运动所形成的电流。在半导体中，同时存在着电子导电和空穴导电，这是半导体导电方式的最大特点。也是半导体和金属在导电原理上的本质差别（自由电子和空穴都可称为载流子。电子填补到空穴上称“复合”）。

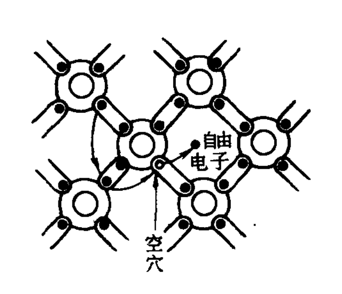


图 2－53　空穴和自由电子的形成

四、P 型半导体和 N 型半导体

纯净的半导体，虽然有自由电子和空穴两种载流子，但数

量有限，导电能力很差。前面已知道，半导体的一个重要特性，即若在半导体中掺入极微量（百万分之一）的某种杂质，半导体的导电能力就会成百万倍的增加。为此，人们采用了在半导体中有控制地掺入杂质的方法来提高其导电能力。

一种方法是在硅（或锗等）晶体中掺入硼（或其它最外层只有 3 个电子的杂质），每个硼原子外层只有 3 个电子，如图 2-54 所示。而硅原子的最外层有 4 个电子，故在构成共价键结构时，将因缺少一个电子而形成一个空穴，如图 2-55 所示。这样加入杂质后，半导体就形成了许多空穴。当空穴邻近原子的外层电子来填充时，就使空穴不断“迁移”。在外加电压作用下，空穴向负极方向移动，形成空穴流，称为空穴导电。这种以空穴导电为主要导电方式的半导体称为空穴半导体或称 P 型半导体，如图 2-56 所示。

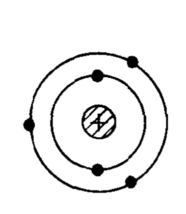


图 2-54 硼原子的结构

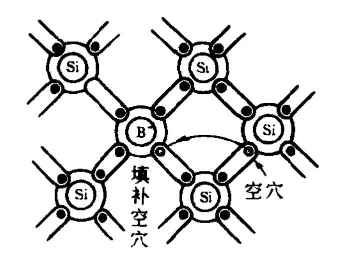


图 2-55 硅晶体中掺硼出现空穴

另一种方法是在硅（或锗等）的晶体中掺入磷（或其它最外层只有 5 个电子的杂质），磷原子的最外层有 5 个电子，如图 2-57 所示。它比硅原子的外层电子多一个。当硅原子与磷原子结合成共价键时，多出了一个电子成为自由电子。如图 2-58 所示。这样，加入杂质后半导体中增加了许多自由电子。当外加电压时，自由电子向正极方向移动，形成电子流，称为

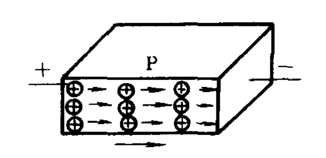


图 2-56　P 型半导体

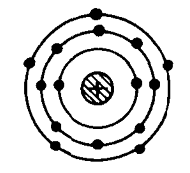


图 2-57　磷原子的结构

电子导电，如图 2-59 所示。这种以电子导电作为主要导电方式的半导体，称为电子半导体或称 N 型半导体。

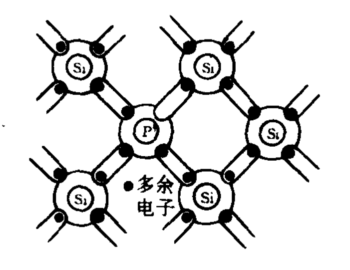


图 2-58　硅晶体中掺磷出现自由电子

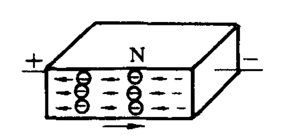


图 2-59　N 型半导体

P 型半导体中，空穴是多数载流子，自由电子是少数载流子。N 型半导体中，自由电子是多数载流子，而空穴是少数载流子。但不论是 P 型半导体还是 N 型半导体，两端没有外加电压时，整个晶体仍然是不带电的。

五、PN 结的形成及单向导电性

P 型或 N 型半导体的导电能力虽然很强，但并不能直接制造成半导体器件。若在 N 型半导体上，用一定的工艺方法再形成一层 P 型半导体，则在它们的交界处就会形成 PN 结。PN 结是构成各种半导体的基础。

我们知道，在 P 型半导体中有许多空穴，电子极少；在 N

型半导体中有许多电子，但空穴极少。由于其不均匀的分布，故N型区域的电子向P型区域扩散，P型区域的空穴向N型扩散。扩散结果是N型区域中邻近P型区域一边的薄层A失去了一些电子，因此带有正电，如图2-60(a)所示。同样，P型区域中邻近N型区域一边的薄层B中有一部分空穴扩散到N型区域一边去了，结果使薄层B带有负电，如图2-60(b)所示。

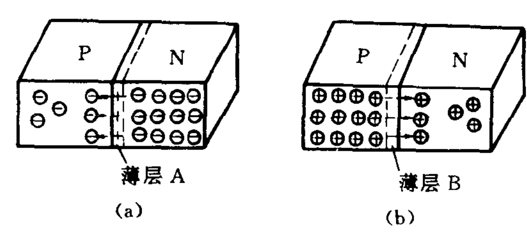


图2-60 电子与空穴的扩散运动

(a) 电子扩散至P型区域；(b) 空穴扩散至N型区域

上述电子与空穴的扩散是同时进行的，所以薄层A和B同时产生于N型和P型半导体交界S的两侧，从而在AB薄层内形成一个内电场。内电场方向，如图2-61所示。内电场阻止空穴继续由P区向N区扩散，阻止电子继续由N区向P区扩散，直至达到平衡状态，AB薄层不再增厚。这个薄层成为阻挡层，即形成PN结。

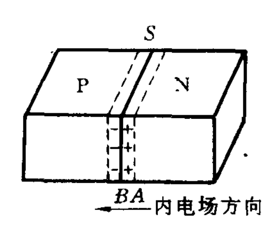


图2-61 内电场的形成

如果在PN结上加上正向电压，即P型半导体接正极，N型半导体接负极，如图2-62(a)所示。从图可知，外电场与内

电场的方向相反，外电场驱使 P 区的空穴进入内电场区抵消一部分负电荷，同时 N 区的自由电子进入内电场区抵消一部分正电荷。相当于阻挡层变薄，此时电阻很小，电流容易通过，称导通。如果 PN 结上加上反向电压，外电场与内电场方向一致，即相当于阻挡层变厚，电阻大大增加，流过的电流很小，称不导通或截止，如图 2-62(b)所示。

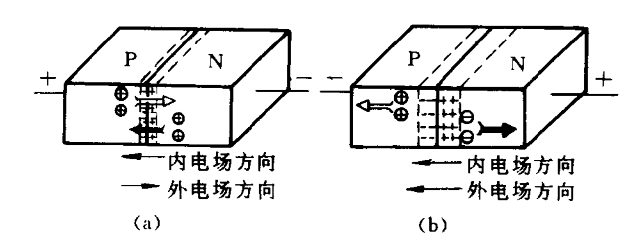


图 2-62　在 PN 结上加外部电压的情况

(a) 外加正向电压时阻挡层变薄；(b) 外加反向电压时阻挡层变厚

这种在 PN 结上加上正向电压时，PN 结处于导通状态；加反向电压时，PN 结处于截止状态，就是 PN 结的单向导电性。图 2-63 就是 PN 结的符号和示意图。

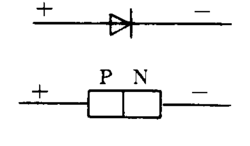


图 2-63　PN 结的表示法

(a) PN 结的符号；
(b) PN 示意图

六、硅整流元件的结构、外形及类型

硅整流元件就是整流用管心为硅片的二极管。其结构如图 2-64 所示，在外壳内装有半导体管心。通常所说的 PN 结不是分别制造出 P 型半导体和 N 型半导体，然后将它们结合在一起。它们的制作方法一般是：为了在一块 N 型半导体的上方制出 P 型区，在高温状态下，将 N 型半导体的上部分置

入 3 价(其原子最外层的电子为 3 个,称 3 价)材料(如铟或镓等)的高温蒸汽中,于是,在 N 型的上方形会成 P 型区,从而得了 PN 结。硅二极管的管心是用锡焊焊在外壳内,引出线和外壳是它的二个极。

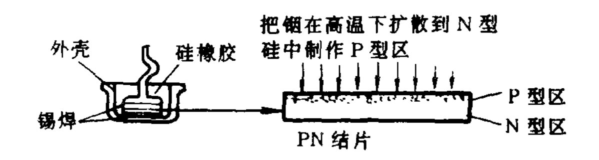


图 2-64 硅二极管的结构

根据 ZBT 36008—89《ZQ 型硅整流元件》标准,其外形尺寸图,如图 2-65 所示。该标准适用于汽车交流发电机配套使用的硅整流元件。这种硅整流元件的外壳采用滚花,花纹推荐采用节距 0.6 mm,纹顶宽 0.2 mm。硅整流元件装到发电机内是靠滚纹的外圆压配到相应的孔中。硅整流元件的外形尺寸及配合孔径参见表 2-12。

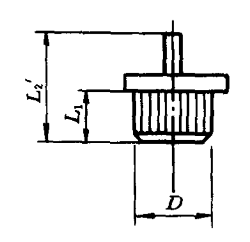


图 2-65 汽车拖拉机用交流发电机硅整流元件外形尺寸图

汽车交流发电机用 ZQ 型硅整流元件有两种类型,一种用正极端用硅元件,一种为负极端用硅元件。分别又可称为正极管和负极管。正极管的中心引出线为阳极,外壳为阴极,电流由中心引出线电极流向外壳,元件的底部用红字标记,如图 2-66(a)所示;负极管的中心引出线为阴极,外壳为阳极,电流由元件的外壳流向中心引出线,元件的底部用黑字或绿字标记,如图 2-66(b)所示。有的把正极管称作正烧二极管,把

负极管称作反烧二极管。

表 2-12 硅整流元件的外形尺寸及配合孔径

型 号	D/mm	L_1/mm	L_2/mm	相应的配合孔径/mm
		不 大 于		
ZQ5	$\phi 11^{+0.15}_{+0.08}$	8	21	$\phi 11^{+0.027}_{0}$
ZQ10 ZQ15 ZQ20	$\phi 13^{+0.15}_{+0.08}$			$\phi 13^{+0.027}_{0}$
ZQ25	$\phi 16^{+0.15}_{+0.08}$	11	32	$\phi 16^{+0.027}_{0}$
ZQ50	$\phi 19^{+0.15}_{+0.08}$	14	35	$\phi 19^{+0.033}_{0}$

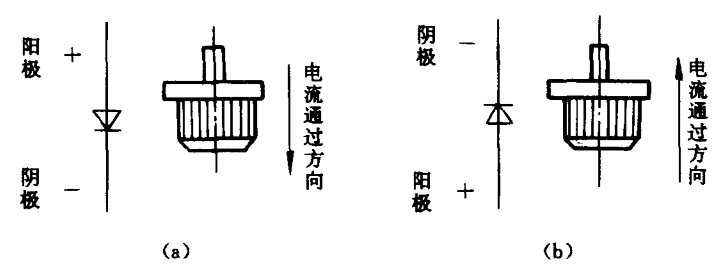


图 2-66 硅整流元件两种类型

(a) 正极端用硅元件;(b) 负极端用硅元件

七、硅整流元件的伏安特性

硅整流元件的伏安特性,如图 2-67 所示。当硅整流元件两端加上正向电压时,在外加电压很低情况下,外加电场还不足以克服 PN 结的内电场,因此这时的正向电流几乎为零。当正向电压超过一定值(此值称作死区电压,又称门坎电压,对

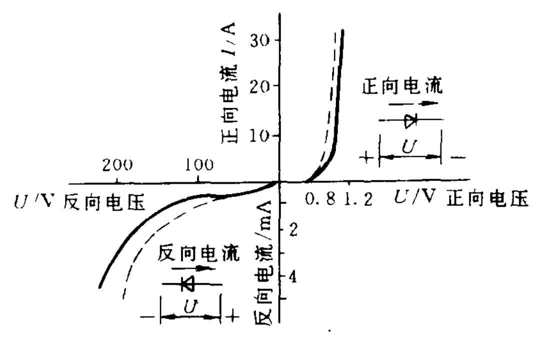


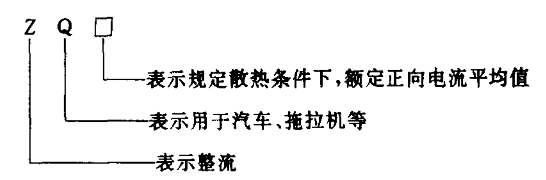
图 2-67　硅二极管的特性

硅整流元件约为 0.6 V)，内电场被大大削弱，电流突然增加，当电压再稍稍增加(图中为 1 V)，电流值将急剧增加。但正向电流愈大，PN 结发热愈严重，故正向电流不能无限止增长。

当硅整流元件两端加上反向电压时，反向电流极小(注意：图 2-67 中反向电流座标的电流单位是 mA)，而且在反向电压未超过某一范围时，反向电流的大小可以认为基本不变，与反向电压的高低无关，故通常称为反向饱和电流。但当外加反向电压过高时，反向电流将突然增大，硅整流元件失去单向导电性，这种现象称击穿。硅整流元件被击穿后，一般不能恢复原来的性能，即失去整流作用。

八、硅整流元件代号和性能参数

根据 ZBT 36008—89《ZQ 型硅整流元件》标准的规定，硅整流元件名称代号含义如下：



硅整流元件性能参数列于表 2 - 13 所示。

表 2 - 13 硅整流元件性能参数

<table>
<tr><th>型 号</th><th>额定正向平均电流 I_F/A</th><th>浪涌电流 I_{FSM}/A</th><th>反向重复峰值电压 U_{RRM}/V</th><th>反向重复峰值电流 I_{RRM}/mA</th><th>通态正向平均电压降 U_F/V</th><th>工作结温 T_j/℃</th><th>贮存温度 T_{stg}/℃</th></tr>
<tr><td>ZQ5</td><td>5</td><td>60</td><td rowspan="6">270</td><td rowspan="4">≤3</td><td rowspan="6">≤0.8</td><td rowspan="3">−40～+150</td><td rowspan="3">−40～+160</td></tr>
<tr><td>ZQ10</td><td>10</td><td>120</td></tr>
<tr><td>ZQ15</td><td>15</td><td>180</td></tr>
<tr><td>ZQ20</td><td>20</td><td>240</td><td rowspan="3">−40～+180</td><td rowspan="3">−40～+190</td></tr>
<tr><td>ZQ25</td><td>25</td><td>300</td><td rowspan="2">≤7</td></tr>
<tr><td>ZQ50</td><td>50</td><td>600</td></tr>
</table>

九、硅整流元件的选用

选用硅整流元件应考虑如下主要参数：

(1) 额定正向平均电流 I_F(A)。指元件长期使用时，允许流过元件的正向平均电流值。例如一只额定正向平均电流为 15 A 的硅整流元件，是指一个周期内通过元件的正弦半波平均电流为 15 A，而浪涌电流却大得多。

(2) 反向重复峰值电压 U_{RRM}(V)。硅整流元件的反向并非是绝对地不通，即在反向额定电压作用下，约仍有几毫安的微小电流反向通过。从硅整流元件的伏安特性(见图 2 - 67)可知，其反向电流开始时随着反向电压的增大而慢慢增大，当

反向电压过高时，反向电流会突然增大。硅整流元件这点突变电压称作反向击穿电压。因此，考虑到汽车、拖拉机电路中会有自感电势作用交流发电机的硅元件，选用硅整流元件时其反向重复峰值电压要比其正常工作时所承受的最大反向电压高得多。

(3) 反向重复峰值电流 I_{RRM}(mA)。指在元件上加上额定反向电压时的反向电流最大值。反向电流过大，说明元件的单向导电性能差。

(4) 工作结温 T_j(℃)。指元件的额定工作温度。根据汽车、拖拉机工作环境和要求的需要，硅元件在－40～＋75 ℃(或有的场合为－40～＋65 ℃)的环境温度下应能正常工作，考虑到流过硅元件电流大小和冷却条件不同，在 ZBT 36008－89《ZQ 型硅整流元件》标准中作如下规定：额定正向平均电流为 5、10、15 A 的硅元件，其工作结温为－40～＋150 ℃；额定正向平均电流为 20、25、50 A 的硅元件，其工作结温为－40～＋180 ℃。

硅整流元件选用原则是：

(1) 上述主要参数应符表 2-13；

(2) 外形尺寸应符合表 2-12；

(3) 正确判别和应用所需的极性。

因此在调换硅元件时应符合规格要求，当然在外形尺寸相同条件下，硅元件额定电流选择大电流值是可以的，例如 ZQ15 硅元件以 ZQ20 硅元件代用是可以的，但成本增高。在设计发电机时必须对交流发电机进行整流电路计算，然后按上述原则选用硅元件。

十、硅整流器的组成

硅整流器组成的结构形式很多。近 30 年来硅整器组成的结构不断改进，主要目的是：改善整流器散热条件；拆装方便；增加功能。

为什么要注意改善整流器的散热条件？这是由于整流元件在流过电流时会产生很大的热量。例如设 25 A 的电流通过硅元件，在其管内电压降为 0.8 V，则此硅元件消耗的电能为

$$P = UI = 20\ \mathrm{W}$$

对一个 6 管整流电路的三相交流发电机，考虑到各元件仅在三分之一的时间内通过电流，则这个发电机硅元件消耗的电能为

$$20\mathrm{W} \times 6 \div 3 = 40\ \mathrm{W}$$

这与 40 W 电烙铁耗电相同。

这样大的热量，如果不及时散出，则整流元件就会损坏。因此硅元件都装在散热性好的金属元件散热板上，并且一般通强风使元件散热板冷却。图 2－22 所示三个正极管装在元件散热板上，另三个负极管被装在后盖上。由于后盖面积大，又易散热，一般来说，这 3 个负极管寿命可长些。

但在上述结构，硅元件一旦损坏，拆装不便。所以又出现图 2－68 所示硅整流器。这种硅整流装置可以装在交流发电机的后盖外部。如果需要更换硅元件，整流器很容易从发电机上拆下，然后将正、负元件散热板分解开后，进行修理或更换硅元件。

近十几年内还出现一种集成型硅整流器，其硅元件及印刷电路被组装在元件散热板上，这样硅元件可以做得很薄，如图 2－69 所示。此外，为提高输出功率，硅整流器除 6 管外，还

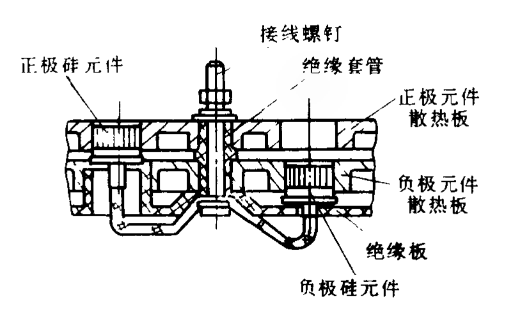


图 2-68　采用正负元件散热板组成的硅整流器结构之一

有 8 管、9 管和 11 管等。其电路将在本章第十节～第十二节介绍。

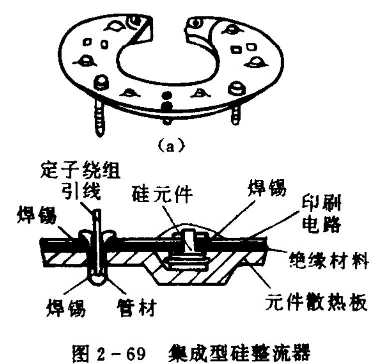


图 2-69　集成型硅整流器
(a) 外形；(b) 内部结构

第八节　电压调节器

一、电压调节器的功用与种类

在电源电压要求稳定的车辆上，由于发电机是由发动机

带动的，而发动机转速在很大范围内变化。发电机感应产生的电压也随转速变化而变化。发电机两端的电压可用下式来表示：

$$E = k\Phi n = k' I_{jc} n$$

式中 Φ——发电机的主磁通(Wb)；

k、k'——发电机结构常数；

n——发电机的转速，r/min；

I_{jc}——激磁电流(A)。

从上述公式可知，随着发电机转速和激磁电流的增加，发电机的输出电压也跟着升高。如果发电机的转速升高，而使激磁电流减小，则能使发电机电压保持在一定的范围内。电压调节器就是根据这一原理制成的。

将整车电源电压稳定在规定值内，对保证电气设备的性能和寿命具有重要作用。如果发电机电压不稳定，会导致灯泡光通量的变化，电压过高就会缩短灯泡的使用寿命；电压过低，灯泡亮度不足。对蓄电池而言，发电机电压过高或过低，会使蓄电池过充电或充电不足。电源电压变化过大，还会使无线电接收机工作效果不良等。

目前实际使用的电压调节器可分为两类：触点式电压调节器和电子式电压调节器。触点式调节器又可分为单触点式和双触点式两种；电子式电压调节器又可分为晶体管式和集成电路式二种。

二、双触点式电压调节器

触点式电压调节器是靠触点的接通与断开来控制激磁电流的大小而保持发电机输出电压为恒定值的。现先介绍双触点式电压调节器。

图 2－70 所示为双触点式电压调节器的基本电路。它由磁化线圈、铁心、二对触点以及调节电阻 R_{dj}等组成。其工作原理如下：调节器不工作时，发电机低速状态起作用的低速触点 K_1 是闭合的，高速时起作用的高速触点 K_2 断开。

当发电机转动后，交流发电机经整流输出直流电，这时磁化线圈中有电流通过，产生电磁力矩吸引衔铁臂，力图使触点分开。但当发电机转速较低，磁化线圈所产生的电磁力还不能使触点 K_1 分开，触点仍保持闭合，调节电阻 R_{dj}短路，此时发电机磁场电路为：发电机正极──→触点 K_1 ──→衔铁臂──→激磁线圈──→发电机负极形成回路。

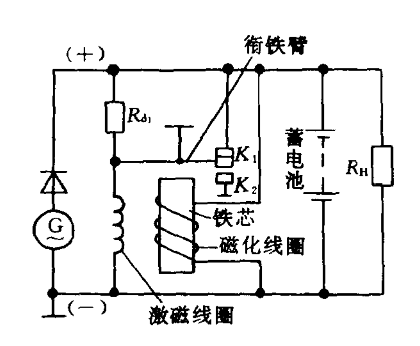


图 2－70　双触点电压调节器基本电路

当发电机转速升到一定值，由于磁化线圈电磁力的作用，将触点 K_1 断开，调节电阻 R_{dj}便串入磁场电路中，此时磁场电路为发电机正极──→调节电阻 R_{dj}──→激磁线圈──→发电机负极形成回路。由于在其电路中串入了调节电阻 R_{dj}，激磁电流下降，激磁场削弱，发电机电压即下降。当发电机电压下降到某一数值时，磁化线圈中电流减小，触点 K_1 又闭合，调节电阻又被短路，激磁电流和发电机电压又上升，使发电机电压保持恒定。

当发电机转速升高到串入的调节电阻 R_{dj}也不能抑制发电机电压上升时，衔铁臂处于中间位置，触点 K_1 和 K_2 均断开，这时激磁电流减小到最小。如发电机转速不进一步升高，

发电机电压以及激磁电流又开始升高，衔铁臂进一步下移，使触点 K_2 闭合时，激磁线圈被短路，这时激磁电流减小到零。于是电压随之迅速下降。发电机电压下降又使磁化线圈的吸力减小，触点 K_2 又重新断开，衔铁臂又处于中间位置，激磁电流经过调节电阻 R_{dj}，流入激磁线圈，发电机电压上升。如此周而复始，高速触点不断振动，使发电机电压保持稳定。

现以 FT61 型电压调节器为例，说明其构造及其工作原理。FT61 型电压调节器为双级触点式，铁心 4 固定在磁轭 6 上，衔铁臂 2 活动地安装在磁轭上。衔铁臂与铁心间的气隙，与衔铁臂、磁轭、铁心组成了电压调节器的磁路。磁化线圈 3 绕在铁心上，R_1 为调节电阻，R_2 为助振电阻（又称加速电阻），磁化线圈一端经温度补偿电阻 R_3 接地，另一端接在 R_1 和 R_2 之间，并通过 R_2、点火开关 7 与发电机电枢接线柱“+”相接，承受发电机的电压。

调节器磁化线圈内的电流和铁心中的磁通，不随发电机电压的变化而立即变化，而是稍落后于电压变化一定时间。这是因为调节器铁心磁通变化时，在调节器磁化线圈内有自感电动势，这个电动势阻止磁通变化。为此，为减小调节器机械上的惯性和磁惯性，加上了助振电阻 R_2(1 Ω)。在触点未打开时，发电机激磁电流不通过助振电阻 R_2，通过的电流只是调节器磁化线圈的电流。当调节器触点打开后，激磁电流通过助振电阻 R_2 和调节电阻 R_1(85 Ω)，由于激磁电流比流过磁化线圈的电流大，因此流过助振电阻 R_2 中的电流急剧增大，它是激磁电流与磁化线圈电流的和，所以在 R_2 上的电压降增大。在发电机电压未变的情况下，磁化线圈上得到的电压减小。于是磁化线圈的电流和电磁吸力迅速减小，衔铁臂迅速复位，加速触点的闭合。故电阻 R_2 称为助振电阻或加速电阻。

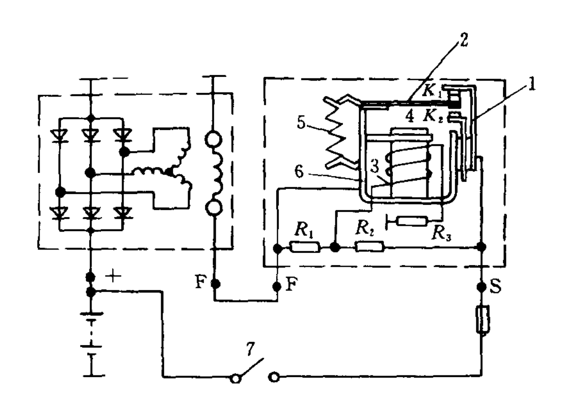


图 2－71　FT61 型电压调节器电路图

1—静触点支架；2—衔铁臂；3—磁化线圈；4—铁心；5—弹簧；6—磁轭；7—点火开关；K_1—低速触点；K_2—高速触点；R_1—调节电阻；R_2—助振电阻；R_3—温度补偿电阻

FT61 型电压调节器的工作原理如下：接通点火开关 7，蓄电池电流同时流过调节器磁化线圈 3 和激磁线圈。当发电机低速运转时，由于激磁线圈获得激磁电流，使转子磁场增强，于是发电机电压很快升高。随着发电机转速的升高，当发电机电压高于蓄电池电压时，激磁电流和磁化线圈的电流转为由发电机供给。发电机转速继续升高，当发电机电压达到工作电压时，磁化线圈的电磁吸力增强，克服弹簧拉力，将衔铁臂 2 吸下，使上触点 K_1 断开。激磁电路中串入电阻 R_2 和 R_1，使激磁电流减小，发电机电压降低。当发电机电压下降而略低于工作电压后，通过磁化线圈电流减小，电磁吸力减弱，触点 K_1 在弹簧作用下又闭合，调节电阻 R_1 被短路，使激磁电流又增加，发电机电压再度升高。当发电机电压升至略高于工作电压后，触点 K_1 又被断开，如此周而复始，触点 K_1 的不断振动，使发电机电压保持稳定。

但有时发电机转速处于高转速时，即使触点 K_1 断开，R_1、R_2 串入磁场电路中，因其数值较小，发电机电压仍继续升高，增大磁化线圈的吸力，将衔铁臂吸得更低，而使触点 K_2（高速触点）闭合。触点 K_2 闭合时，由于激磁绕组正极端接地而短路，发电机电压急剧下降。于是磁化线圈的吸力减小，衔铁臂在弹簧拉力作用下，重新停在中间位置，触点 K_1、K_2 处于断开状态，磁场电路中又串入电阻 R_1、R_2，发电机电压又上升。如此周而复始，触点不断振动而保持发电机电压稳定。

电阻 R_3 是由镍铬合金线绕制，其电阻基本不随温度变化。如果磁化线圈不与它串联应用，那么磁化线圈电阻就要设计大些，受温度影响也大得多。因此，电阻 R_3（13 Ω）减小温度对磁化线圈电阻的影响，起到补偿作用。

FT61 型电压调节器的性能参数，列于表 2－14。

表 2－14　FT61 型电压调节器的性能参数

配合工作的发电机型号	JF13 系列，14 V、25 A、350 W JF11 系列，14 V、25 A、350 W
发电机转速为 3 000 r/min，输出为 4 A 时的调节电压值	13.2～14.2 V
调节器在 70 ℃±2 ℃环境中，发电机转速为 3 000 r/min，输出为 12.5 A，连续工作 2 h，调节电压值允许变化不大于	1 V
当输出为 12.5 A，发电机转速在 1 800～7 000 r/min变化时，调节电压值允许变化不大于	0.5 V
当发电机转速为 3 500 r/min，输出在 0～23 A 变化时，调节电压值允许变化不大于	0.5 V

双触点式电压调节器的优点是触点火花小、调节转速范围大。但缺点是有两对触点，且高速触点的间隙小（一般为

0.2～0.42 mm)，调整困难，为防止灰尘进入造成危害，其盖与底座之间应有良好的密封。

三、带灭弧系统的单级式电压调节器

汽车交流发电机与传统的直流发电机相比较，转速高、激磁电流大。过去传统的单级式电压调节器触点间易产生火花，使触点迅速烧蚀；前面讲的双级式电压调节器调整困难、寿命短。因此又出现了一种带灭弧系统的单级电压调节器。这种电压调节器在电路中作了两个改进：一是在铁心上增加了由二极管 D、扼流线圈 a_2 组成退磁回路；二是在触点间并联了电容器 C，用来吸收自感电动势、减少了触点火花。FT111 型电压调节器电路图如图 2－72 所示。

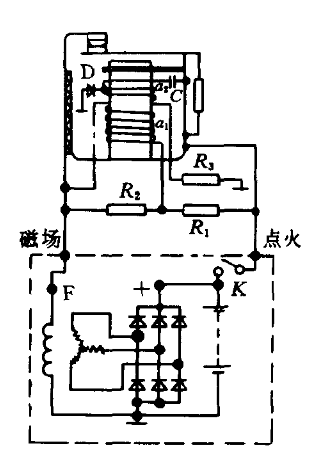


图 2－72　FT111 型电压调节器电路图

其工作原理如下：当发电机电压达到规定值时，磁化线圈 a_1 使触点打开，于是调节电阻 R_2 和助振电阻 R_1 串入磁场电路。激磁电流突然减小，激磁线圈中产生较高的自感电势，其感应电流通过二极管 D、扼流线圈 a_2 构成回路，方向与铁心上的磁化线圈 a_1 中的电流方向相反，起到退磁作用；同时触点两端通过 a_2 并联的电容器(对 14 V FT111 型)或直接并联的电容器(28 V FT211 型)吸收自感电能，从而显著地减小了触点火花，延长了触点的寿命。

带灭弧系统的单级式电压调节器的优点是调整方便，使

用寿命长。其规格和技术参数列于表 2－15 和 2－16。

表 2－15 规格参数

调节器型号	额定电压/V	配合工作的交流发电机型号
FT111	14	JF01C、JF13 系列,JF23 系列
FT211	28	JF23 系列、JF25 系列

表 2－16 技术参数

试验项目 \ 型号	FT111	FT211
半载时调节电压	13.5～14.5 V	27～29 V
试验时配合工作的交流发电机转速为 3 500 r/min		

还应该指出的是,触点式电压调节器在工作过程中,其触点易电蚀磨损和机械磨损。为了使电弧引起的触点磨损减小到最低的限度,除制造厂应注意合理选用触点材料外,用户还应注意在 12 V 电系中通过电压调节器触点的工作电流一般不大于 2 A;在 24 V 电系中,其触点工作电流一般不大于 1.3 A。

四、晶体管式电压调节器

晶体管式电压调节器是利用晶体三极管的开关作用来控制交流发电机激磁绕组的电流大小,而保持发电机的输出电压为恒定值。

(一) 稳压管及其特性

稳压管是一种特殊的半导体硅二极管,由于它在电路中能起稳定电压的作用,故称为稳压管(又称齐纳二极管)。其符号与伏安特性如图 2－73 所示。硅稳压管的伏安特性与硅二极管相似。但硅二极管在反向击穿后就失去单向导电特性而

损坏，而稳压管却工作在反向击穿区。从反向特性曲线上可以看出，稳压管的伏安特性反向电压在一定范围内变化时，反向电流很小；当反向电压增高到反向击穿电压时，电流将急剧地增加。称这种反向电流急剧增加时的电压为雪崩电压。通常的二极管反向击穿就意味元件损坏。但在稳压管中，其反向击穿后，反向电流变化范围尽管很大，但其两端的电压却几乎不变；而且稳压管反向击穿后，只要流过的电流小于它的最大允许电流，稳压管不会损坏。利用这一特性，稳压管在电路中起到稳压作用。

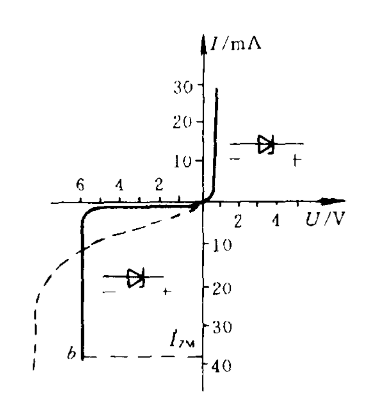


图 2－73　稳压管的伏安特性

稳压管允许通过的最大反向电流称为稳压管的最大工作电流，用代号 I_{ZM} 表示。在使用稳压管时工作电流不允许超过 I_{ZM} 值。在选用稳压管时要注意其稳压值随工作电流和温度的不同而有所不同。厂家所给出的参数只是在某一个具体情况的数值。此外，同型号的稳压管，它们的稳压值也并不是完全相同。在电子式电压调节器上，并不是直接用稳压管形成一个恒定值电压，而是作为检测元件使用，用它来判断交流发电机加在调节器上的电压是高于规定电压还是低于规定电压。

（二）晶体三极管及其特性

晶体三极管一般分为两种，一种是 PNP 型晶体三极管，如锗管为 3A 系列和硅管为 3C 系列；另一种是 NPN 型晶体

三极管，如锗管为 3B 系列和硅管为 3D 系列。晶体三极管的内部结构示意图和符号如图 2－74 所示。

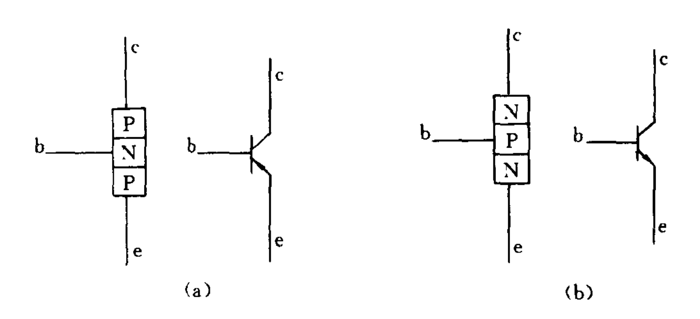


图 2－74 晶体管极管的内部结构示意图和表示符号

(a) PNP 型晶体三极管；(b) NPN 型晶体三极管

晶体三极管有发射极、基极和集电极三个极，分别用 e、b、c 表示。图 2－74(a)为 PNP 型晶体三极管内部结构示意图和符号图。从其内部结构示意图可知，它由两层 P 型半导体和中间的 N 型半导体所组成。由于 P 型半导体是靠空穴导电的，PNP 型晶体三极管发射极发射的是空穴，空穴的移动相当于正电荷的移动，与电流方向一致，在电路中用符号图表示，发射极的箭头表示电流方向。

图 2－74(b)为 NPN 型晶体三极管内部结构示意图和符号图。从其内部结构示意图可知，它由两层 N 型半导体和中间的 P 型半导体组成。N 型半导体是靠电子导电的，所示 NPN 型晶体三极管发射极发射的是电子，电子的移动方向与电流方向相反，所以其符号图所示的发射极的箭头也表示电流的方向。

（三）晶体三极管中电流分配及其放大作用

以 PNP 型晶体三极管为例，三极管接入如图 2－75 所示

的电路，e、c 通过 R_c 接入电压较低的电源 E_b（例如 1.5 V）。用 I_b、I_c、I_e 分别表示流过基极、集电极和发射极的电流。

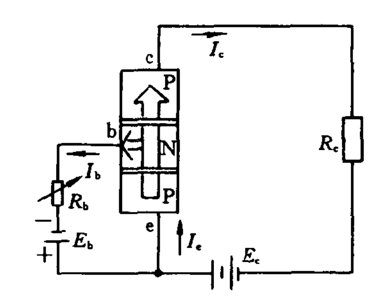


图 2-75 晶体三极管中电流的分配

先断开 E_b，使 $I_b=0$，测出 I_c、I_e。再接通 E_b，改变 R_b 的值，从而改变 I_b，测出对应每一个 I_b 对应的 I_c 和 I_e，可得出表 2-17 所示数据。从表中可知道上述三个电流的关系是 $I_e=I_b+I_c$；当 $I_b=0$ 时（即基极开路），I_c 有一个较小的数值，称为穿透电流，可以符号 I_{ceo} 表示。I_{ceo} 值小些较好，这样当温度变化时，I_c 的变化较小，三极管的稳定性就好。

表 2-17 晶体三极管电流测试数据

测试数据 / 实验次数 / 电流类别	1	2	3	4
I_b/mA	0	0.04	0.10	0.16
I_c/mA	0.75	1.95	3.75	5.55
I_e/mA	0.75	1.99	3.85	5.71

从上表中还可发现：基极电流的微小变化，就会引起集电极电流的较大变化。例如：I_b 由 0.04 mA 增加到 0.16 mA 时，集电极电流 I_c 便由 1.95 mA 增加到 5.55 mA，即 I_b 变化 0.12 mA，而 I_c 变化了 3.6 mA。这是由于发射极发射的空穴，受到电源 E_b 和 E_c 的作用，但 E_c 的电压较高，于是大部分空穴均穿过极薄的 N 型半导体，被集电极所吸引，形成集电

极电流 I_c。因此，当发射极与基极之间加入一个变化的信号电压，使基极电流 I_b 有个很小的变化 ΔI_b 时，便会引起集电极电流的很大变化。晶体三极管所具有的这种以小变化的基极电流控制大变化的集电极电流的性能，即为三极管的电流放大特性。为了衡量晶体三极管的放大能力，通常用集电极电流的变化量 ΔI_c 和基极电流的变化量 ΔI_b 的比值 β 来表示，即 $\beta=\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$。

（四）晶体三极管的开关作用原理

为了解晶体三极管的开关特性，按图 2－76 所示电路，可作如下实验。调节偏置电阻 R_c，从最大值开始，逐渐减小，每调节一次，应记录三个电流表上的读数，如表 2－18 所示。从表中可以看出：基极电流 I_b 在 0～80 μA 范围内变化时，I_b 的较小变化都将引起 I_c 的较大变化，I_c 与 I_b 之间近似成线性比例关系，即 $I_c \approx \beta I_b$，晶体三极管起电流放大作用；然而当 I_b 达到 90 μA 后，尽管调小 R_b 使 I_b 继续增大，但输出电流 I_c 却基本上保持在 6 mA，这一现象称“饱和”。晶体三极管在饱和状态下，集电极与发射极间的电压降很小，仅 0.1 V，可忽略不计，相当于开关处于接通状态；若将偏置电阻调至很大时，基极可认为开路，这时 $I_b=0$，集电极电流 I_c 减小到 0.1 mA，可忽略不计，相当于开关处于断开状态，或称截止状态。由此可知，当晶体三极管处于饱和状态和截止状态时，可以起到开关的作用。

表 2－18　晶体三极管特性试验数据

I_b/μA	0	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
I_c/mA	0.1	1	1.4	2.3	3.2	4	4.7	5.3	5.8	6	6	6
U_c/V	11.8	10	9.2	7.4	5.6	4	2.6	1.4	0.4	0.1	0.1	0.1

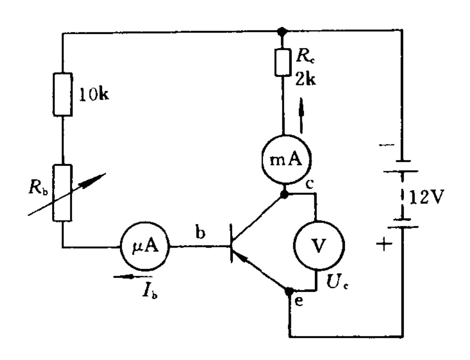


图 2-76　分析晶体三极管开关特性实验电路

（五）晶体管式电压调器的基本工作原理

图 2-77 为晶体管式电压调节器的基本电路。在电压调节器中，晶体三极管 Tr_1 的基极电流是由晶体三极管 Tr_2 控制的，Tr_2 基极电流受到稳压管 DW 控制。当闭合点火开关 K 时，电流经电阻 R_3，形成 Tr_1 的基极电流，Tr_1 导通。于是，激磁线圈的电流从集电极流向发射极，此时激磁线圈中有较大

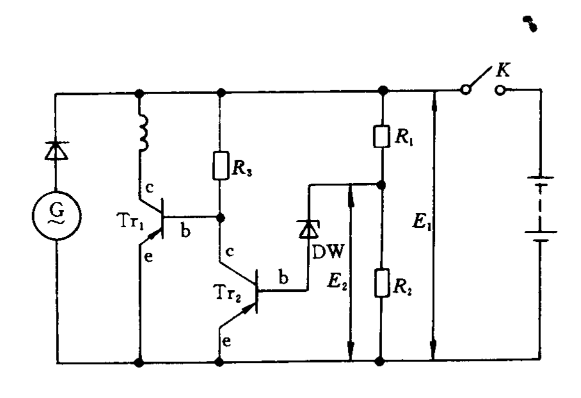


图 2-77　晶体管式电压调节器的基本电路

的电流流过。

稳压管 DW 连接在 Tr_2 的基极电路中，电阻 R_1、R_2 分压后，给稳压管 DW 加上反向电压 E_2(分电压占总电压的比例取决于分压电阻与总电阻之比)，其值为

$$E_2 = E_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

式中 E_1——交流发电机的端电压(V)。

如果发电机的转速升高，则电压 E_1 提高，供给稳压管 DW 的电压一旦达到稳定电压值，稳压管 DW 反向击穿而导通，Tr_2 就有基极电流而导通。当 Tr_2 饱和导通时，Tr_1 的基极与发射极间的电位差几乎为零，Tr_1 的基极电流也近似为零，Tr_1 处于截止状态，于是激磁线圈中没有电流流过。

如果激磁线圈无电流流过，交流发电机的电压下降，电压 E_2 也下降。因而稳压管 DW 便截止，恢复初始状态：Tr_1 导通，电流流过激磁线圈，使发电机电压升高。当交流发电机的端电压达到规定值以上时，稳压管 DW 又导通，Tr_2 导通，Tr_1 重新截止，激磁线圈无电流通过，电压下降。如此周而复始，将发电机电压稳定在限额电压值内。

（六）JFT106 型晶体管式电压调节器电路分析

CA141 型汽车装用 JF152D 或 JF1522A 型有刷交流发电机，与其配套的为 JFT106 型或 JFT124 型晶体管电压调节器。JFT106 型晶体管式电压调节器电路如图 2－78 所示。其电路主要由电阻 R_1、R_2、R_3、稳压管 DW_2 构成的调节器所规定的电压调节值检测电路和由三极管 Tr_1、Tr_2、Tr_3 构成的开关电路以及其它辅助元件等三部分组成。电压调节器工作温度为－40～65 ℃，调节器为防尘式，连续定额工作制。该电压调节器调节电压为 13.5～14.5 V。

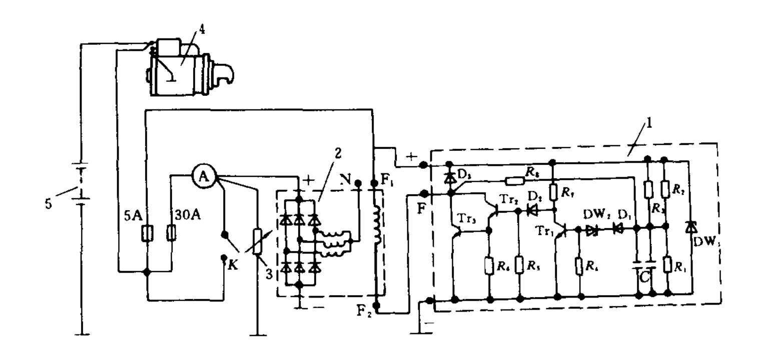


图 2-78　JFT106 型晶体管电压调节器电路

1—电压调节器；2—交流发电机；3—用电设备；4—起动机；5—蓄电池

该电压调节器工作原理如下：

当接通点火开关 K 时，发电机在发动机带动下转速开始升高。当发电机电压低于电压调节器的规定电压调节值时，电压调节器不起电压调节作用。这时，蓄电池端电压经电压调节器"＋""－"两接线柱加在由 R_1、R_2、R_3 组成的分压器两端，经分压器分压后，加到稳压管 DW_2，但电压值还低于 DW_2 的击穿电压，不足以使 DW_2 击穿。此时 Tr_1 基极电流为零，则 Tr_1 截止。但这时电源电压通过 R_7、D_2、R_5 向 Tr_2 提供正向偏置电压，于是 Tr_2 导通。Tr_2 的导通又为 Tr_3 提供了正向偏置电压，Tr_3 导通。Tr_3 导通后，蓄电池经 Tr_3 使激磁电路形成回路。这样蓄电池供给的激磁电流流过激磁线圈，使发电机两端电压迅速上升。当发电机端电压大于蓄电池端电压后，电源电压将由蓄电池电压转为发电机电压。

当发电机电压随转速上升而达到调节器所规定的电压调节值时，此时分压器加至 DW_2 两端的反向电压达到了稳压管的击穿电压，DW_2 导通，向 Tr_1 提供基极电流（即正向偏压），

Tr_1 导通。由于 Tr_1 导通，R_5 被短路，Tr_2 失去正向偏压，Tr_2 截止，又使 Tr_3 失去正向偏压，于是 Tr_3 截止，从而切断了发电机的激磁回路，发电机端电压急剧下降。发电机电压下降后，分压器加于 DW_2 的电压又低于击穿电压，从而使 Tr_1 截止，而 Tr_2、Tr_3 又开始导通，激磁电流又流过激磁线圈，发电机电压重新上升，如此周而复始，使发电机电压稳定在规定值内。

稳压管 DW_1 反接在发电机两端，当发电机突然失去负载产生瞬变电压时，DW_1 便被击穿导通，从而保护电压调节器及其它用设备不被损坏。

D_3 为续流二极管。当 Tr_3 由导通转为截止的瞬间，发电机激磁线圈将产生自感电势（此时 F_2 端为"＋"、F_1 为"－"），经 D_3 自成回路而衰减，从而保护了三极管 Tr_3 不会被击穿损坏。

电阻 R_8 的功用是用来提高 Tr_3 的翻转速度，减少功率损耗。当 Tr_3 由导通趋于截止时，集电极电位上升，这一变化反馈至 DW_2，加深了 DW_2 另一端（负极端）的电位，从而使 DW_2 提前击穿导通，Tr_1 也相应提前导通，Tr_2、Tr_3 则被加速截止。反之，当 Tr_3 由截止趋于导通时，其集电极电位即下降，于是反馈到 DW_2，使 DW_2 迅速截止，这又将使 Tr_3 加速导通。

电阻 R_7 的功用是对 Tr_1 起限流作用，防止 Tr_1 导通后被损坏；同时又是 Tr_2 的分压电阻。

电阻 R_6 对 Tr_2 起限流作用，又是三极管 Tr_3 的偏压电阻。

二极管 D_1、D_2 保证 Tr_1、Tr_2 截止可靠。

电容器 C 的功用是并联在电阻 R_1 的两端，用来降低 Tr_3 的开关频率。由于电容器两端电压不能突变，电容充放电需要

一定时间，这就推迟了 Tr_3 的开关频率，并减少 Tr_3 发热。

JFT106 型晶体管式电压调节器元件规格列于表 2-19。

表 2-19　JFT106 型晶体管式电压调节器元件规格

元件名称与代号	元件型号规格	元件名称与代号	元件型号规格
三极管 Tr_1	3DG182A	电阻 R_2	510 Ω
三极管 Tr_2	3DG182B	电阻 R_3	3.6 kΩ
三极管 Tr_3	3DD102	电阻 R_4	510 Ω
稳压管 DW_1	10W40	电阻 R_5	510 Ω
稳压管 DW_2	2CW1	电阻 R_6	10 Ω
二极管 D_1	2CZ82C	电阻 R_7	1 kΩ
二极管 D_2	2CP12	电阻 R_8	240 kΩ
二极管 D_3	2CZ85D	电容器 C	2×4.7 μF
电阻 R_1	1 kΩ		

五、集成电路式电压调节器

（一）集成电路式电压调节器的特点与分类

集成电路式电压调节器与晶体管式电压调节器相同，也是靠三极管的导通、截止来控制发电机激磁电流的。但其结构特点是所有晶体管都不再采用外壳，而是把二极管、三极管的管心集成在一块基片上，从而实现在超小型的底板上能容纳多个半导体电路。它具有体积小、质量轻、可靠性高、作成的电压调节器可以组装在发电机内等优点，所以在汽车上获得广泛的应用。集成电路调节器也称为 IC 调节器，IC 就是 Integrated Circuit（集成电路）的缩写。IC 调节器有二类：一是半导体集成电路，是把晶体三极管、二极管、电阻和电容器等元件同时制作在一块硅基片上。二是混合集成电路，是把电阻、

电容器、配线等元件做在绝缘基体上，再将晶体三极管、二极管等装上。根据膜的厚度，可分为薄膜混合集成电路和厚膜集成电路两类。现在使用的集成电路调节器多是厚膜混合集成电路。

（二）集成电路式调节器的基本工作原理

集成电路式调节器基本电路如图 2－79 所示。当接通点火开关 K，发电机在发动机带动下开始运转，但发电机电压低于调节器的规定的电压调节值时，调节器不起调压作用。这时，蓄电池或发电机的端电压“＋”、“－”加在分压器 R_1、R_2 两端，电阻 R_2 的电压

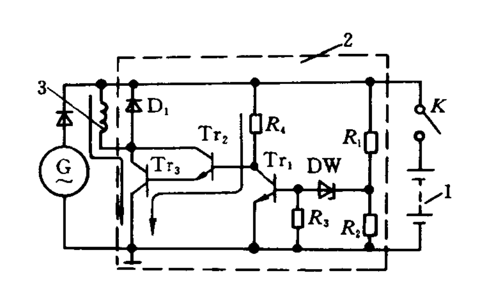


图 2－79　集成电路式电压调节器基本电路

1－蓄电池；2－电压调节器；3－激磁线圈

降虽正向加于稳压管 DW，但低于 DW 的击穿电压值，三极管 Tr_1 的基极无电流流过，Tr_1 截止。然而通过电阻 R_4 的电流向三极管 Tr_2 提供正向偏压，Tr_2 导通。于是发电机激磁线圈的一端通过三极管 Tr_3 接地而形成回路，使激磁电流尽力通过激磁线圈，形成很强的磁场，交流发电机输出较高的电压。

当发电机转速继续上升，发电机电压达到调节器规定的调节电压时，此时发电机在分压器电阻 R_2 上产生的电压降高于 DW 的击穿电压，DW 击穿导通，为 Tr_1 提供正向偏流，Tr_1 导通。由 Tr_1 导通，其电阻几乎为零，所以电阻 R_4 被短路，Tr_2 失去正向偏压而截止。由于 Tr_2 截止，Tr_3 也随着失去正偏压

而截止。从而切断了激磁回路，发电机端电压急剧下降。当发电机电压下降后，分压器加于 DW 的电压又低于击穿电压，从而使 Tr_1 截止，Tr_2、Tr_3 又开始导通，激磁电流又流过激磁线圈，发电机电压又上升，如此周而复始，使发电机电压稳定在规定值内。交流发电机调节电压应符合如下规定：对额定电压为 14 V 的交流发电机，其调节电压值在 13.95～14.45 V 范围内，如图 2-80 所示。对于额定电压为 28 V 的交流发电

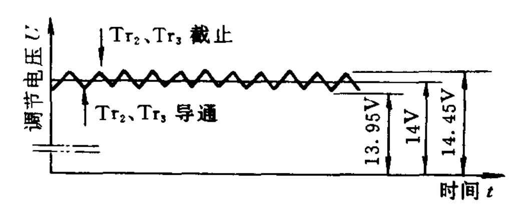


图 2-80　经电压调节器输出的波形及调节电压范围

机，其调节电压值在 27.7～28.3 V 范围内。

其它元件的功用是：

D_1 为续流二极管。当 Tr_2、Tr_3 截止时，激磁线圈产生反方向的瞬间很高的反电势，经 D_1 形成回路而衰减，从而保护了 Tr_3 不致被过高电压击穿而损坏。

R_3 为温度补偿电阻。我们知道，加在稳压管 DW 上的电压不达到调节器电压调节值时，其几乎无电流流过。但其伏安特性实际上还是有很小的反向漏电流流过，此电流随着温度的升高而增大。当此电流流过三极管 Tr_1 基极时，由于 Tr_1 的放大作用，有可能产生误动作。增加 R_3 后，当温度增高时削弱了温度对 Tr_1 的影响，保证 Tr_1 的正常工作。

（三）单个取样电路的集成电路式调节器

图 2-81 为单个取样电路的集成电路式调节器。电阻 R_1、R_2 与稳压管 DW 组成调节器的检测电路，即所谓单向取

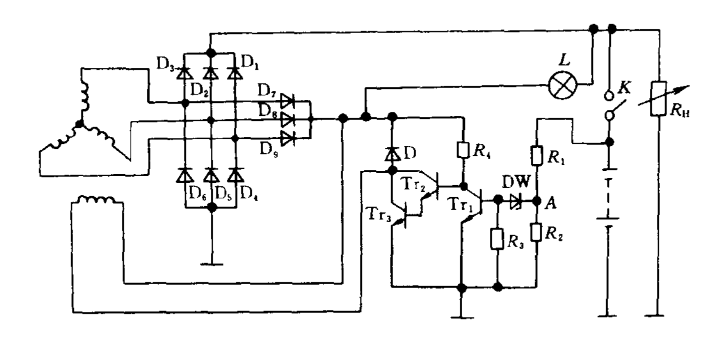


图 2-81 单个取样电路的集成电路式调节器

样电路。工作原理如下：在发动机带动下发电机开始发电时，当其输出电压较低时，电阻 R_1 与 R_2 之间的 A 点是检测点。A 点电位较低时稳压管 DW 不能击穿，稳压管中几乎没有电流流过，三极管 Tr_1 截止，这时 Tr_2、Tr_3 处于导通状态，激磁线圈流过激磁电流，交流发电机电压逐渐上升。当发电机电压达到规定的调节电压时，A 点电位正好使稳压管击穿而导通，Tr_2、Tr_3 截止，激磁回路中的激磁电流被切断，交流发电机的端电压急剧下降。当发电机输出电压低于规定电压值时，A 点电位又降低，使稳压管 DW 中又无电流流过，Tr_2、Tr_3 又导通，发电机电压又上升。如此周而复始，使发电机输出电压控制在所规定的调节电压范围内。

D_7、D_8、D_9 为激磁二极管，其功用详见后面第二章第十一节。

（四）带双取样电路的集成电路式调节器

单个取样电路的集成电路式调节器，其温度与调节电压关系为 $U_a=f(t)$，如图 2-82 所示。其缺点是在低温下调节电压过高，容易造成蓄电池的过充电，使蓄电池寿命缩短。为了

克服这一缺点，出现了一种双取样电路的集成电路式调节器，如图 2－83 所示。从图中可知，第一取样电路由 R_1、R_2、DW_1 组成，第二取样电路由 R_3、R_4 和 DW_2 组成。双取样电路的集成电路式调节器工作原理如下：对第一取样电路，调节器的温度

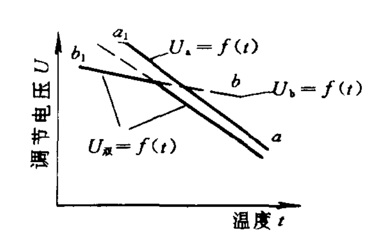


图 2－82　调节器的温度特性曲线

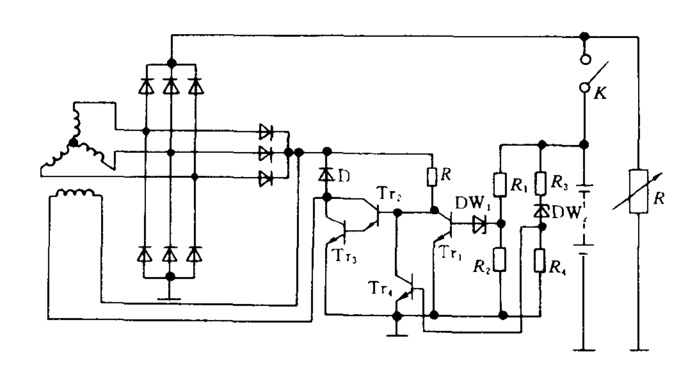


图 2－83　带双取样电路的集成电路式调节器

与调节电压关系为沿 $U_a=f(t)$ 曲线变化；第二取样电路，调节器的温度与调节电压的关系为沿 $U_b=f(t)$ 曲线变化。在较高温度时，第一取样电路的调节电压低于第二取样电路，交流发电机的输出电压按第一取样电路调节电压变化；当温度较低时，第一取样电路调节电压与第二取样电路调节电压特性曲线相交；当温度更低时第二取样电路调节电压低于第一取样电路调节电压，交流发电机输出电压按第二取样电路调节电压变化，充电电压的温度特性如 b_1-b 直线所示，变化比较

平缓，这样可以解决低温时交流发电机输出电压升得过高而致使蓄电池过充电的弊病。以此原理制成带双取样电路的集成电路式调节器，其温度特性即沿$U_{双}=f(t)$关系变化。

第九节　带中性点抽头的交流发电机电路分析

一、交流发电机中性点抽头的概念

某些交流发电机利用中性点N作为继电器的电源或作为启动过程中完成的控制信号。

交流发电机中性点抽头是从三相绕组的中性点引出来的，如图2－84所示。在发电机的接线柱标记上以“N”表示。中性点对发电机外壳接地电压U_N是通过三个负极管硅整流元件三相半波整流后得到的直流电压。中性点电压U_N恰好是发电机直流输出电压U_R的一半，即

$$U_N=\frac{1}{2}U_R$$

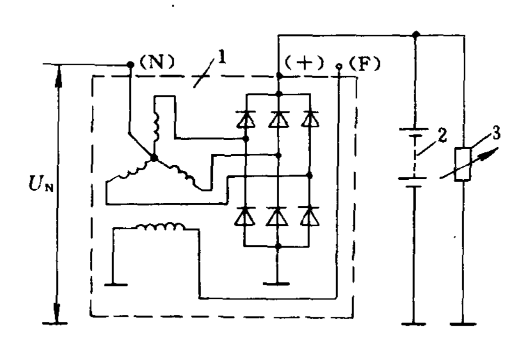


图2－84　带有中心抽头的交流发电机

1－交流发电机；2－蓄电池；3－电气设备

二、磁场继电器控制电路的分析

在汽油发动机中，交流发电机的激磁电路和电压调节器磁化线圈电路是通过点火开关控制的。停车时关掉点火开关即可切断上述两个电路，防止蓄电池向其供电。在柴油机中，上述两个电路是由电源开关控制的，为防止驾驶员的疏忽而忘记关断电源开关，致使蓄电池长期向发电机激磁线圈和电压调节器的磁化线圈供电，造成上述电路的线圈和蓄电池的损坏，在柴油机所装用的调节器中，增装了一组磁场继电器。

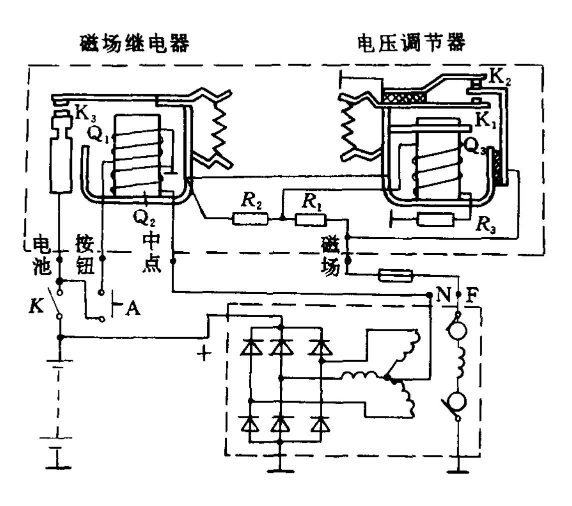


图 2-85　FT61A 型双联调节器

这里以 FT61A 型调节器为例，说明其工作原理。当发动机启动时，接通电源开关 K，并按下起动按钮 A，蓄电池的电流通过“按钮”接线柱流入磁场继电器起动线圈 Q_1，产生的电磁吸力使触点 K_3 闭合。于是激磁电路、电压调节器磁化线圈电路被接通。其电路为

蓄电池正极→电源开关 K→磁场继电器“电池”接线柱→继电器触点 K_3、磁轭—┬→电压调节器磁轭→常闭触点 K_2
└→助振电阻 R_2→电压调节器主磁化线圈

→“磁场”接线柱→激磁线圈 —┐
→温度补偿电阻 R_3 —┘→搭铁→蓄电池负极形成电回路。

发动机启动时，发电机以及中性点 N 处的电压升高，自中性点引出的电流经“N”接线柱流入磁场继电器维持线圈 Q_2，并产生与起动线圈 Q_1 方向一致的电磁吸力，使触点 K_3 闭合得更牢。

当发动机启动后，放松起动按钮，起动线圈 Q_1 中的电流被切断，但触点 K_3 在维持线圈 Q_2 作用下仍保持闭合，发电机激磁电路和电压调节器磁化线圈电路仍保持正常工作。当发电机转速上升时，在电压调节器的作用下，保持电压恒定。

当发动机停止运转时，即使忘记关断电源开关，但由于发电机中性点没有电压，磁场继电器维持线圈 Q_2 中也无电流流过，于是触点 K_3 在弹簧作用下断开，蓄电池与发电机激磁电路被切断，从而起到了防止蓄电池的电流向发电机激磁线圈倒流放电的作用。

三、充电指示灯继电器控制电路分析

在旧式汽车上多采用电流表指示充电，而在现代汽车上普遍采用充电指示灯来指示充电。采用这种电路，当发动机已熄灭，而驾驶员未把电源开关断开时，功率很小的指示灯仍会发亮，给驾驶员一个提醒信号，及时将电源开关断开，避免蓄电池长期向发电机激磁线圈放电。充电指示控制电路，一般有两种：一是采用中性点电压通过继电器进行控制；二是采用 9

管交流发电机电路(详见下面第二章第十一、十二节)。

(一)带充电指示继电器的FT126型调节器电路

如图2-86所示,FT126型调节器由电压调节器和充电指示继电器两部分组成。当接通点火开关K时,蓄电池电流经电流表、充电指示灯、接线柱"L"、常闭触点K_2、接地形成回路。同时,蓄电池又经接线柱"IG"、触点K_3、激磁线圈、接地形成回路,对发电机提供激磁。

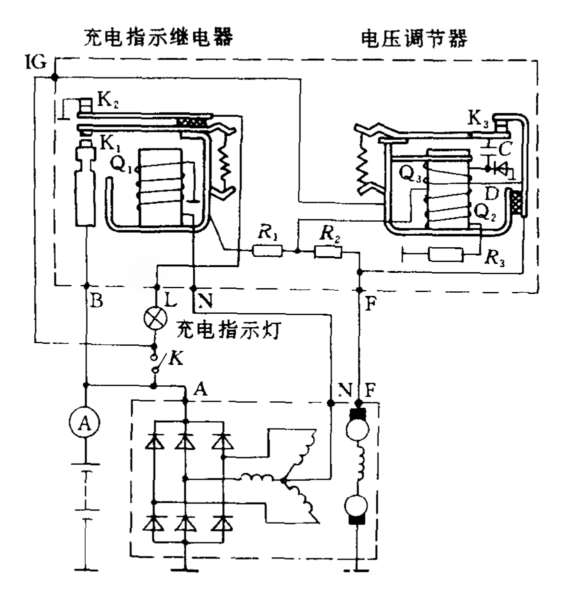


图2-86 FT126型调节器电路图

发动机启动后,交流发电机在蓄电池供给激磁的情况下电压上升。当发电机端电压接近充电电压时,在中性点电压作用下常闭触点K_2断开,常开触点K_1闭合,充电指示灯熄灭。触点K_1闭合后,电压调节器的磁化线圈的电流被接通,其电

路为发电机正极接线柱"A"→调节器接线柱"B"。→触点 K_1 →电阻 R_1→磁化线圈 Q_2→电阻 R_3→接地→发电机负极形成回路。其电压调节器为单级式，通过触点 K_3 的振动、调节和控制激磁电流，使发电机电压恒定。二极管 D、扼流线圈 Q_3、电容 C 组成 D－LC 触点灭弧系统。当发电机电压达到规定值时，电压调节器磁化线圈 Q_2 将触点 K_3 打开，助振电阻 R_1 和调节电阻 R_2 被串入发电机激磁回路，使激磁电流急剧减小，结果在激磁线圈中产生了很高的自感电势，其感生电流经二极管 D、扼流线圈 Q_3 构成回路，起到续流作用，保护了触点。此外，在触点 K_3 两端通过扼流线圈 Q_3 并联一个电容器 C，用来吸收自感电势，减小触点的火花。

（二）丰田牌轻型车带充电指示继电器的调节器

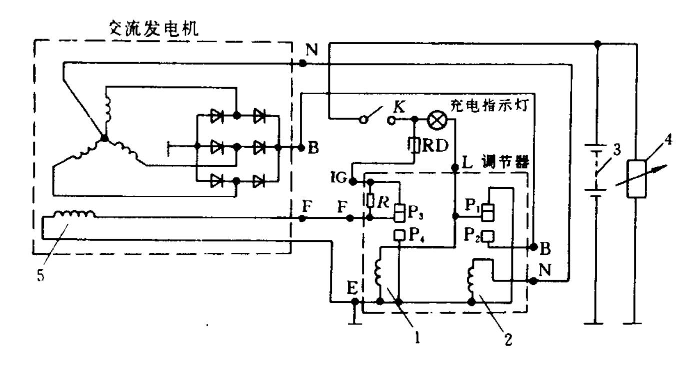


图 2－87　丰田牌轻型载货汽车带充电指示继电器的调节器

1－调节器磁化线圈；2－充电指示继电器线圈；

3－蓄电池；4－电气设备；5－激磁线圈

图 2－87 所示为丰田牌轻型载货汽车带充电指示继电器的调节器电路图。该调节器由充电指示继电器和双级式电压调节器所组成。其工作原理是：

当点火开关 K 接通时，蓄电池电流流过充电指示灯和继电器常闭触点 P_1，充电指示灯发亮，调节器磁化线圈 1 被短路，触点 P_3 仍保持闭合，则激磁电流从蓄电池、保险丝 RD、电压调节器常闭触点 P_3、磁场接线柱"F"，流入激磁线圈，为发电机提供激磁。当发电机转速升高，其端电压达到充电电压时，在中性点电压的作用下，充电指示继电器的常闭触点 P_1 被打开，常开触点 P_2 闭合。充电指示灯被短路，充电指示灯熄灭，表示蓄电池开始充电。随着充电指示继电器的常开触点 P_2 闭合，发电机的端电压加于磁化线圈 1 的两端，使触点 P_4 不断振动，从而保持电压调节器电压在规定值内。

第十节　8 管交流发电机电路分析

"8 管交流发电机电路"是在三相发电机电路中，三相绕组的中性点与"B_+"端及搭铁之间分别增接二极管 D_7 和 D_8，如图 2－88 所示。

我们知道，交流发电机定子三相绕组，分别相差 120°电角度。当交流发电机输出电流较小时，定子绕组的相电压波形

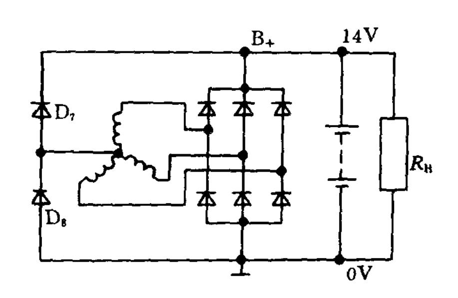


图 2－88　8 管交流发电机电路

可认为规则的正弦形；当交流发电机输出电流较大时，在电枢反应影响下引起偏磁，使相电压波形失真，这种波形可以分解为基波和三次谐波，而且每相绕组情况都是如此，如图 2－89 和 2－90 所示。

对星形联接的交流发电机，各相线电压之间三次谐波互相抵消，所以三相相线间并无三次谐波，如图 2－91 所示。但在中性点却有三次谐波出现，而且输出越大，其振幅越大。对于 14 V 制的三相桥式整流交流发电机，其调节器调节电压约为 14.5 V。但随发电机转速的上升，中性点三次谐波的电压也相应增加。一般当爪极式三相交流发电机转速超过 2 000 r/min（发动机转速约超过 900 r/min）时，中性点电压的峰值开始超过调节器规定的调节电压值 14.5 V，如图 2－92 所示。

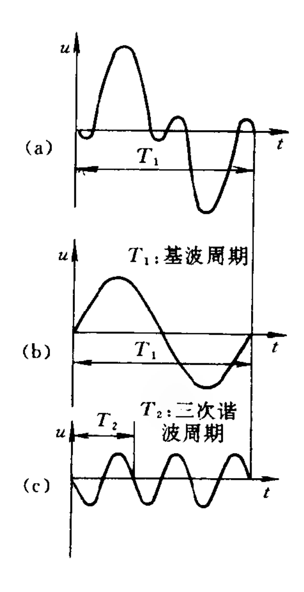


图 2－89 相电压波形的分解
(a) 相电压的合成波形；
(b) 基波；(c) 三次谐波

对于 8 管交流发电机，当发电机低转速时，由于中性点三次谐波的电压很小，无法提高发电机的输出功率；随着发电机转速的提高，中性点电压超过直流输出电压时，二极管 D_7 导通，如图 2－93 所示，其超过输出电压的这一部分中性点波峰电压值将向负载供电，即增加了发电机的输出；当中性点电压降到对地电压以下的瞬间，二极管 D_8 开始导通，如图 2－94 所示，同理，也有一部分中性点波峰

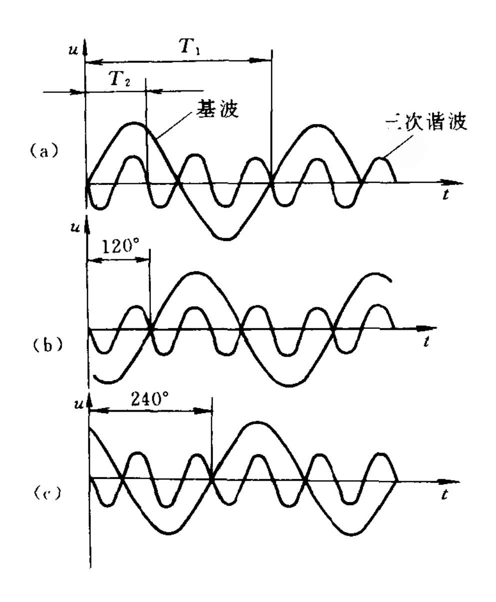


图 2-90　各相的三次谐波

(a) 第一相；(b) 第二相；(c) 第三相

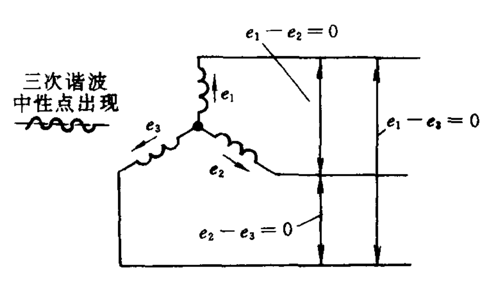


图 2-91　三次谐波电压出现的情况

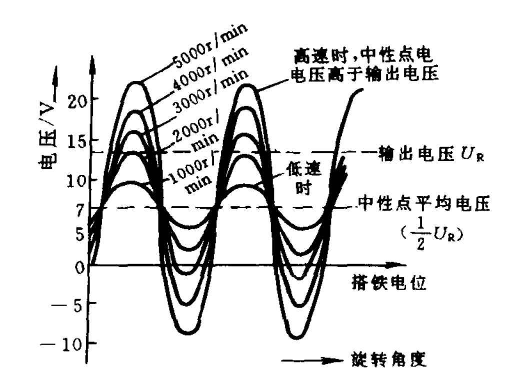


图 2－92 中性点电压的变化情况

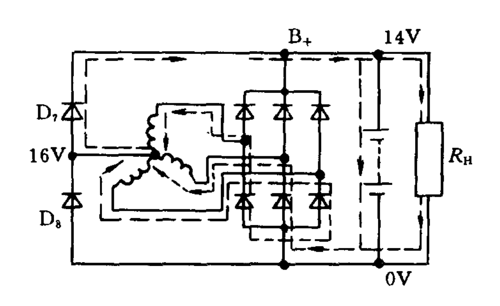


图 2－93 当中性点电压超过直流输电压时的电流通路

电压值将向外输出。在交流发电机转速约 5 000 r/min 时，添加中性点二极管后电机输出功率与额定输出功率相比，输出功率约提高 10%～12%。如果最大输出为 45 A 的交流发电机，装有中性点二极管后可作为 50 A 的交流发电机使用，如图 2－95 所示。

图 2－96 为夏利轿车 TJ376Q 型发动机的电源系统，由

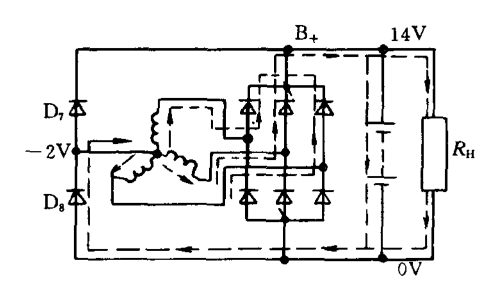


图 2-94　当中性点电位降至接地电位(0 V)以下时电流通路

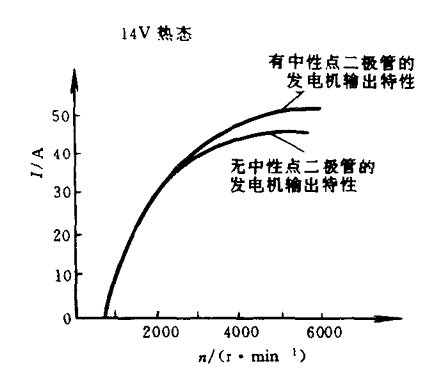


图 2-95　有无中性点二极管对交流发电机输出特性的比较

内装集成电路电压调节器的整体式有刷交流发电机、点火开关、蓄电池、充电指示灯等组成。

这种新型交流发电机内装集成电路调节器和内风扇转子,采用 8 管整流电路。在发动机高速运转时,通过二只中性二极管,交流发电机能向蓄电池和负载提供额外的输出。其内

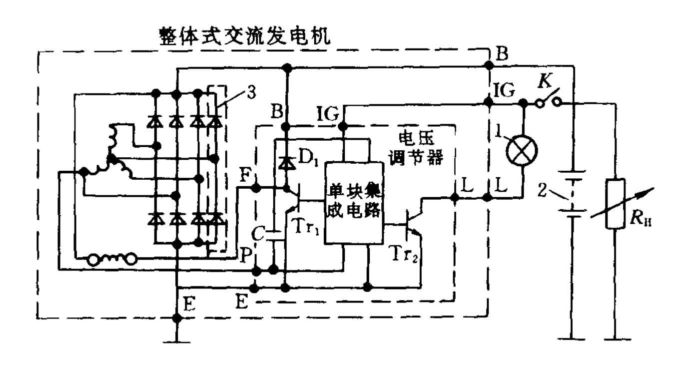


图 2-96　夏利轿车用 8 管交流发电机电路

1—充电指示灯；2—蓄电池；3—中性点二极管

部由一个单片集成电路块、两个三极管、一个二极管、一个电容器构成。当点火开关接通时，蓄电池电压加在 IG 端，单块集成电路测出该端电压后使三极管 Tr_1 导通，通过 F 点使激磁电流流过激磁线圈。当发动机启动后，交流发电机开始发电，但是它产生的电压低于调节电压，这时定子绕组产生电动势，P 端电压不为零，于是在单块集成电路的作用下，使三极管 Tr_2 截止，充电指示灯熄灭。当 B 端的电压值超过蓄电池的电压时，发电机开始向蓄电池充电。随着发动机的转速升高，交流发电机电压继续提高，Tr_1 继续保持导通状态。当单块集成电路检测到发电机 B 端电压超过调节器调节电压(14.5 V ±0.6 V)时，Tr_1 截止，激磁线圈激磁电流消失。二极管 D_1 吸收激磁线圈产生的感应电动势。由于激磁电流消失，发电机 B 端电压开始下降。当单块集成电路检测到发电机 B 端的电压低于调节电压时，Tr_1 重新导通，激磁线圈又有激磁电流流

过，发电机 B 端电压上升，如此周而复始，从而使发电机 B 端电压始终维持在调节电压所规定值范围内。

如果交流发电机停止工作（或在工作过程中激磁线圈故障）而不发电时，那么 P 端的电压为零。这时单块集成电路检测出该值，将 Tr_2 导通，充电指示灯即发亮，向驾驶员提出警告关掉点火开关（或发电机应仍在工作过程中，告示驾驶员电源系统出故障）。

第十一节　9 管交流发电机电路分析

一、三只激磁二极管的功用

“9 管交流发电机电路”是在三相交流发电机电路中除了通常的六只整流二极管外，又增加了三只功率较小的辅助二极管。这三个辅助二极管又称激磁二极管。三个激磁二极管的功用是向激磁电路提供激磁电流和使充电指示灯熄灭。

在没有激磁二极管的交流发电机中，通过六个硅元件组成的三相桥式整流向蓄电池等负载提供直流电，与此同时还向发电机激磁绕组提供激磁电流，对爪极转子激磁，使交流发电机自激发电。由于在这种发电机中，经过激磁绕组的激磁电流是从六个硅元件组成的三相桥式整流的直流输出中分流出来的。从图 2－97 中可以看出，当大电流流过整流二极管时，由于受整流二极管正向电压降和导线电压降的影响，加在激磁绕组上的电压必然有一定下降，因而通过激磁绕组的最大电流也必然下降。这样，在交流发电机输出最大电流（输出最大功率）时，激磁绕组的磁场不能达到最大，无法发挥出交流发电机的发电能力。

在图 2－98 的交流发电机中，由于专设三个激磁二极管

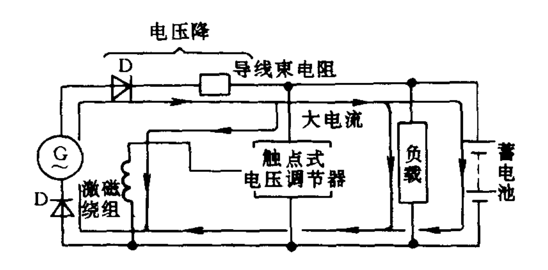


图 2－97　不设激磁二极管的交流发电机电路

向激磁绕组提供激磁电流，发电机输出大电流时，激磁绕组两端电压不受蓄电池和负载电阻等引起电压降的影响。当发电机输出最大电流时，由于输出激磁电压稍高，激磁电流增加，也就是说使发电机激磁场增加，在其它条件不变情况下，就可以增加交流发电机的最大输出电流。

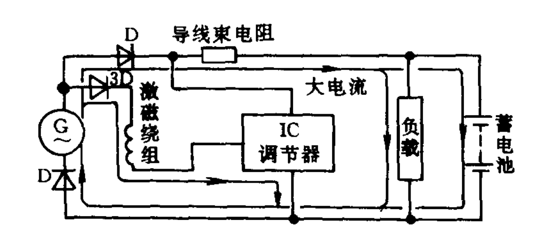


图 2－98　设有三个激磁二极管的交流发电机电路

二、与触点式电压调节器配套的 9 管交流发电机电路

图 2－99 为与触点式电压调节器配套的 9 管交流发电机电路。在发电机中 D_7、D_8、D_9 为激磁二极管。当点火开关 K 接通后，蓄电池的电流通过充电指示灯 L、电压调节器“D_+”接线柱、调节器“D_F”接线柱至发电机激磁绕组、接地形成回路。

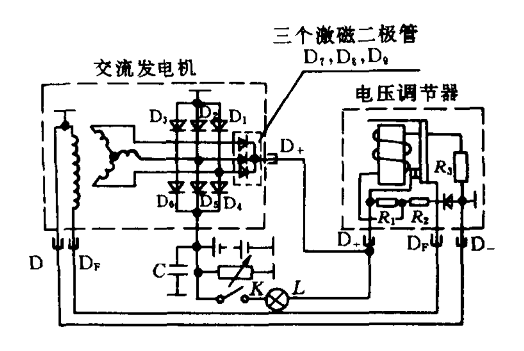


图 2－99 与触点式电压调节器配套的 9 管交流发电机电路

这时充电指示灯发亮，指示交流发电机被激磁。当发电机开始运转后，发电机接线柱“B_+”与“D_-”、调节器“D_+”与“D_-”之间建立电压。充电指示灯发亮，是由于蓄电池端电压与激磁二极管的输出端“D_+”之间的电压差值所致。随着发电机转速的升高，当交流发电机整流后的直流输出电压达到蓄电池充电电压时，发电机开始自激，这时充电指示灯 L 由于两端的电位相等而熄灭。与此同时，发电机激磁电流则由三个激磁二极管 D_7、D_8、D_9 和三个负极二极管 D_4、D_5、D_6 组成的三相全波桥式整流电路整流后的直流电压 U_{D_+} 供给。当发电机转速下降到其发出的直流电压低于蓄电池充电电压时，充电指示灯由于两端电位差增大，指示灯重新发亮。所以当发电机故障时，警告电源电路已有故障。电容器 C 的作用是防止无线电干扰。

三、与集成电路调节器配套的 9 管交流发电机电路

与集成电路调节器配套的 9 管交流发电机电路如图 2－100 所示。该电路是一种用于蓝鸟牌轿车上的 9 管整体式交流发电机电路。该发电机额定电压 12 V，额定电流为 60 A；零

电流转速为 1 000 r/min，额定电流输出时其转速小于或等于 5 000 r/min。怠速时，发动机的转速为 500～700 r/min，发电机的转速可以达到 1 250～1 750 r/min。这时，发电机已开始向蓄电池充电。

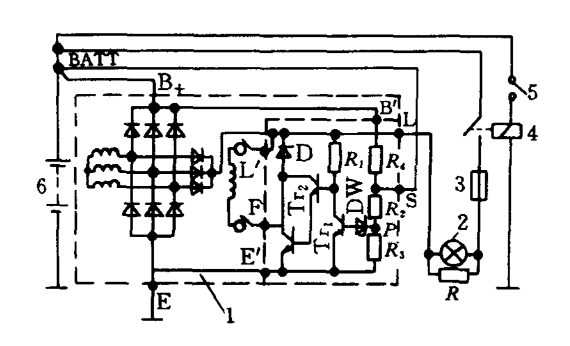


图 2-100　蓄电池检测法电路

1—整体式有刷交流发电机；2—充电指示灯；3—保险丝；4—点火继电器；5—点火开关；6—蓄电池

当接通点火开关 5 时，点火继电器 4 动作，接通充电指示灯 2 电路，三极管 Tr_2（复合管）导通，蓄电池电流从蓄电池正极出发→经充电指示灯→激磁绕组→Tr_2→接地→蓄电池的负极形成回路。此时，充电指示灯发亮，激磁电流流过激磁绕组。

发动机启动后，交流发电机开始发电。当三个激磁二极管输出端的输出电压与蓄电池的电压相等时，充电指示灯熄灭。此时激磁绕组激磁电流由三个激磁二极管输出的直流电压供给。

若交流发电机转速继续上升，当蓄电池和发电机正极的电压取样点 S 达到电压规定值时，稳压管 DW 导通，三极管

Tr_1 导通，则 Tr_2 截止。当 Tr_2 截止时，激磁电流减小，发电机输出电压降低。

当交流发电机输出电压低于 S 点规定值时，发电机电压低于电压调节值，稳压管 DW、三极管 Tr_1 截止，Tr_2 重新导通，激磁电流又流过激磁绕组，发电机电压上升，如此周而复始保持发电机电压恒定。

上面电路中，加到分压器 R_4、R_2 上的电压为蓄电池电压，通过检测点"P"加到稳压管 DW 上的反向电压与蓄电池电压成正比，所以这种电路可称为"蓄电池检测法电路"。为了防止"S"点与"BATT"点断线，发电机失控，所以在分压器与"B′"之间接入电阻 R_4。当"S"点与"BATT"点发生断开时，由于电阻 R_4 的存在，能检测出发电机的端电压，使电压调节器仍正常工作。

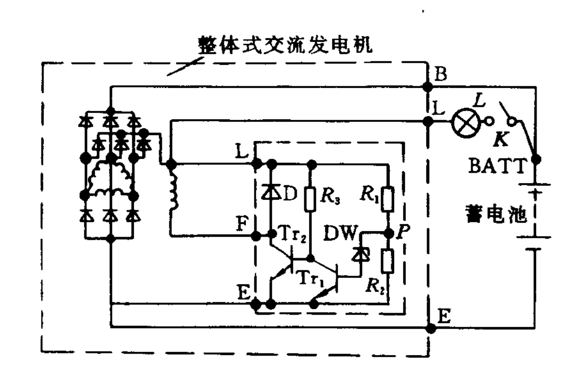


图 2－101　发电机检测法电路

图 2－101 为另一种 9 管交流发电机电路原理图。在图中激磁二极管"L"端直流输出电压加在分压器 R_1 与 R_2 上，"L"端电压与发电机直流输出端"B"端电压相等，检测点 P 的电压为

$$U_P = U_L \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_B \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

由于该检测点 P 加在稳压管 DW 两端的反向电压与发电机直流输出电压成正比，所以这种电路又称为“发电机检测法电路”。这种电路虽少了一根连接线，但由于当发电机直流输出端“B”与“BATT”接线柱之间电压降较大时，蓄电池充电电压会偏低，使蓄电池电压偏低。所以功率较大的发电机一般采用“蓄电池检测法电路”。

在富康轿车上使用的交流发电机，其电路与图 2－101 相同。该机也采用 9 管交流发电机电路，三相电枢绕组为三角形接法。内装电子式电压调节器能控制发电机输出电压稳定在 13.5 V 左右，保证用电设备正常工作。该发电机额定电压 14 V、额定功率 700 W。

第十二节　11 管交流发电机电路分析

“11 管交流发电机电路”是在三相交流发电机中不仅采用 8 管整流，而且同时采用 3 个激磁二极管的电路。

一、上海桑塔纳轿车用 11 管交流发电机电路

在上海桑塔纳轿车、奥迪 100 轿车上采用的 JFZ1813Z 型整体式有刷交流发电机，以及在 CA7220 轿车(即小红旗轿车)上采用的 JFZ1813Y 型整体式有刷交流发电机，额定电压 14 V，额定输出 90 A，零电流转速≤1 050 r/min，起始转速≤1 900 r/min，1 500 r/min 时输出≥43 A，2 000 r/min 时输出≥70 A，6 000 r/min 时输出≥104 A，最高允许转速为15 000 r/min。采用混合式集成电路调节器，在环境温度 23 ℃±5 ℃

下调节电压范围为14.28～13.4 V。电路如图2-102所示，在三相绕组输出端和接地端之间的6个40 A硅整流二极管组成三相全波桥式整流；三相绕组的中性点分别与输出端和接地端各接一个15 A硅整流二极管。当交流发电机转速较高

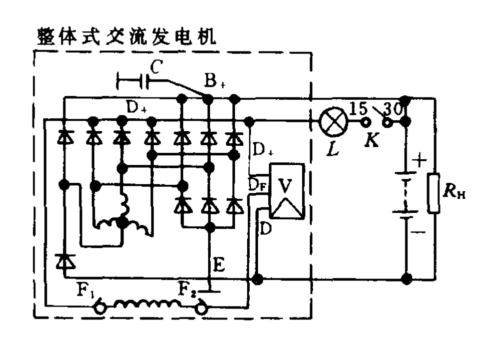


图2-102 JFZ1813型整体式交流发电机电路

(≥2 000 r/min)时，三次谐波经中性点输出，从而增加了交流发电机输出功率。另外，还有三个5 A激磁二极管分别与负极硅整流二极管组成整流电路，向激磁电路提供激磁电流并使充电指示灯熄灭。在交流发电机转速和负载变化时，由电压调节器控制激磁电路中的激磁电流变化，使发电机输出电压保持在一个规定范围内。该机可承受如下抛负荷：在室温情况下，发电机在额定工作转速(n_R=6 000 r/min)下，以80%额定电流抛负荷至10%额定电流，再返至80%额定电流，如此反复进行共10次，调节器不损坏。

二、丰田RB20微型客车用11管交流发电机电路

图2-103为丰田RB20微型客车用11管交流发电机电路。其工作原理如下：

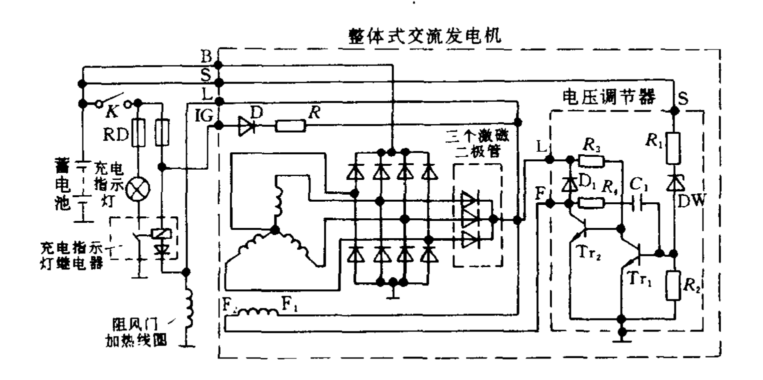


图 2-103 丰田 RB20 微型客车用 11 管交流发电机电路

接通点火开关 K，充电指示灯继电器动作，充电指示灯亮。这时蓄电池电压加于“L”端上。在电阻 R_3 正向偏压作用下，三极管 Tr_2 导通。激磁电流从三个激磁二极管直接向激磁绕组供电，经过激磁绕组“F_1”、“F_2”，电压调节器“F”端，通过三极管 Tr_2，然后接地形成回路。同时蓄电池加于电压调节器“S”端上。发电机在发动机带动下，开始运转。当发电机电压达到蓄电池充电电压时充电指示灯熄灭。随着发电机转速继续上升，当蓄电池和发电机正极电压达到规定的调节电压时，稳压管 DW 正好被击穿而导通，则三极管 Tr_1 导通，三极管 Tr_2 截止，激磁回路被切断，发电机电压下降。当发电机和蓄电池的正极电压低于调节电压时，三极管 Tr_1 截止，Tr_2 又导通，激磁电流又流过激磁绕组，发电机电压重新上升。如此周而复始，使发电机电压稳定在电压调节值范围内。

R_4 和 C_1 组成正反馈电路，加速三极管 Tr_2 导通与截止，减少 Tr_2 的损耗。

D_1 为续流二极管。当三极管 Tr_2 截止时，在激磁绕组中产生

自感电势自成回路，保护 Tr_2 不会损坏。

该发电机的激磁绕组为外搭铁式（或称外接地式）。

图 2－104 为交流发电机的激磁绕组内搭铁式电路，即激磁绕组其中一端在发电机内部搭铁（或称接地）。

图 2－105 为交流发电机激磁绕组外搭铁式电路。激磁绕组的两端均与发电机外壳绝缘，激磁电流是经过电压调节器后才与电源形成回路。

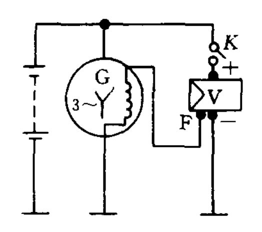


图 2－104 激磁绕组内搭铁式电路

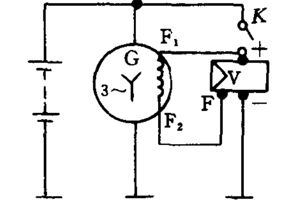


图 2－105 激磁绕组外搭铁式电路

第三章　永磁激磁无刷交流发电机

第一节　永磁发电机的定义及其特点

用永久磁铁作激磁场的无电刷(相对于有刷电机而言)交流发电机称为永磁激磁无刷发电机,简称永磁发电机。随着永磁材料和电子技术的不断改进和提高,近 30 年来,在摩托车、拖拉机上永磁发电机已获得广泛应用。近几年来,永磁发电机在汽车领域的应用也在不断试验研究与推广。

永磁发电机与一般无刷发电机相比较,其特点是:

(1) 永磁发电机输出效率高,无激磁电流损耗;(2) 电压调节最佳方法只能对其电枢电路进行调节。

第二节　磁化与磁滞回线

根据第一章第一节我们知道,物质受磁力作用而产生磁性的现象称作磁化。当物质的磁畴方向紊乱时,对外不显示磁性。但某些铁磁材料当去掉外磁场后,其磁畴的排列并不紊乱,仍能基本上保持方向一致,于是对外仍能显示较强的磁性,这就是永久磁铁。

在图 3-1 所示的环形线圈中,通过改变电流大小和方向,其封闭的圆环状铁心就被循环交变磁化。若环形线圈中是一根未经磁化过的铁心,将线圈中的电流逐渐加大,铁心的磁场强度 H 也增大,可得到起始磁化曲线。其磁通密度(也称磁

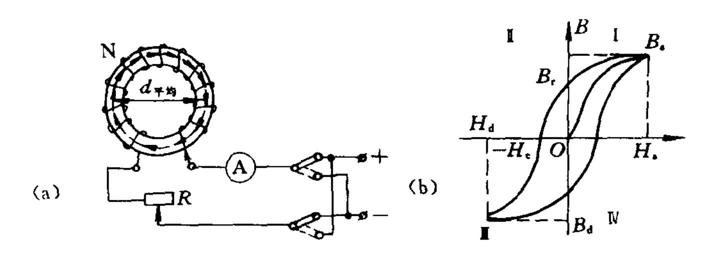


图 3-1 铁磁材料的 B=f(H)磁滞回线

(a) 测试装置;(b)磁滞回线

感应强度)B 将沿图中的 $O—B_s$ 曲线上升。当磁感应强度达到饱和点 B_s 时,磁化过程结束。逐渐减小磁场强度 H 到零,会发现其磁感应强度沿曲线 $B_s—B_r$ 下降。当其磁场强度为零时,磁感应强度不是零而是保持着一定数值。在封闭铁心中所保留的这一部分磁感应强度称为剩余磁感应强度(简称剩磁)以符号 B_r 表示,单位为特斯拉(T)。剩余磁感应强度 B_r 是永久磁铁的一个重要参数。磁滞回线(一般指饱和磁滞回线)在第二象限的那一部分,即曲线 $B_r—H_c$ 称为去磁曲线,是鉴定永久磁铁品质优劣的一项重要依据。如果要使铁心的剩磁消失,则必须改变磁场强度 H 的方向,来进行反磁化。使磁感强度 B 沿着去磁曲线减小到零的磁场强度称作矫顽力,以符号 H_c 表示,单位为安培/米(A/m)。

第三节 简单的永磁磁路及其回复直线

应注意的是用上述方法获得的环形永久磁铁,还不能向外界输出磁能,这时的剩余磁通可表示为 $\Phi_r=SB_r$(见图 3-2(a))。磁铁外面无漏磁通 Φ_σ,闭合磁铁内的磁通由 $H=0$ 时的

B_r 点决定（严格而言，对理想闭合磁铁或短路磁回路是正确的。实际上磁感应强度只能接近 B_r，磁场强度也只是近于零）。

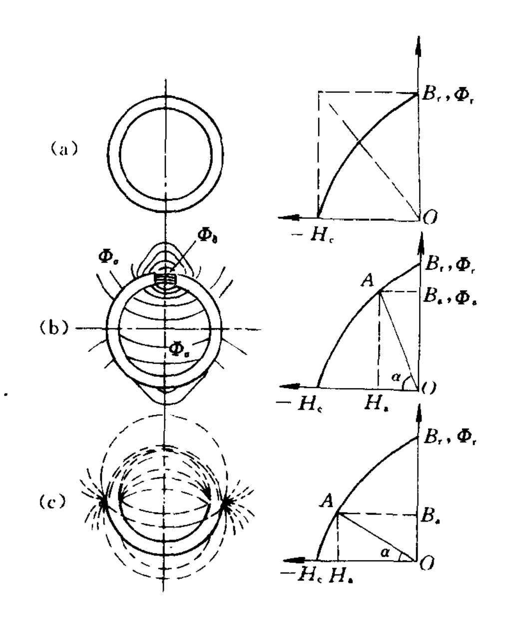


图 3－2　不同气隙的环形磁铁的磁通和去磁曲线

(a) 闭合磁铁；(b) 开路磁铁，δ 较小；(c) 开路磁铁，δ 较大

若将环形永久磁铁切开，如图 3－2(b)所示，其切口处形成气隙 δ，是在气隙磁铁处产生 N 与 S 极。此时除气隙内主磁通 Φ_δ 外。还有漏磁通 Φ_σ。当气隙较小时，漏磁主要集中在气隙附近。在此情况下，磁铁产生去磁场，它与气隙磁场成正比。若磁铁中磁感应强度下降，工作点 A 点将沿去磁曲线下移，其 $\Phi_a < \Phi_r, B_a < B_r, H_a < 0$。

若将环形磁铁切口进一步加大，由于其气隙增大，则其漏

磁通增大，气隙中有效磁通减小。其磁态工作点 A 将进一步沿去磁曲线下移，如图 3-2(c)所示。可见，磁铁的磁感应强度 B 的大小是由磁铁本身性能和气隙尺寸（磁导或磁阻）来决定。

磁铁总磁通可表示为：

$$\Phi_{总}=\Phi_{\delta}+\Phi_{\sigma}$$

且

$$F_{C}=F_{M}+F$$

式中 F_{C}——磁铁磁化力，或磁铁产生的磁势(A)；

F_{M}——在磁铁内部的磁压降(A)；

F——在气隙上所损耗的磁压降(A)。

在此情况下，磁铁已不是中性的，它向外磁场输出自由磁化力 F，以保持气隙磁通 Φ_{δ}。

永久磁铁是外磁场的磁能源。一般把永久磁铁去磁曲线上任意一点的磁感应强度 B 和磁场强度 H 的乘积称为磁能积($B\cdot H$)。对于单位体积永磁体，在它产生的外磁场中存储的能量，用符号 A 表示，单位为 J/m^3（焦耳/米^3）。即

$$A=\frac{BH}{2} \qquad (J/m^3)$$

在图 3-3 中绘出了 $A=f(B)$ 和 $A=f(H)$ 的关系曲线，A_{M} 点为该磁铁（未考虑漏磁）每单位体积向外磁场所能提供的最大磁能，用下式表示：

$$A_{M}=\frac{(BH)_{max}}{2} \qquad (J/m^3)$$

$(BH)_{max}$ 表示去磁曲线上的磁感应强度和磁场强度的最大磁能积。

永久磁铁的特性一般都以 B_{r}、H_{c}、$(BH)_{max}$ 三个参数来表征。

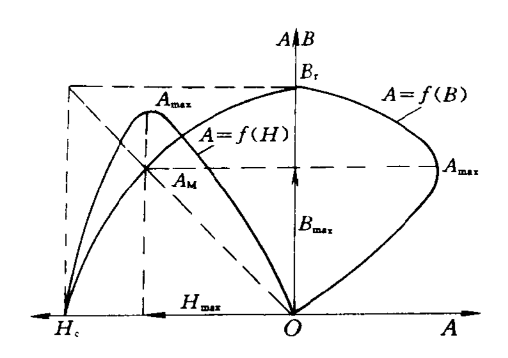


图 3-3　不考虑漏磁的磁铁磁能曲线

如果永磁磁路由内磁路和外磁路（气隙）组成，且其工作

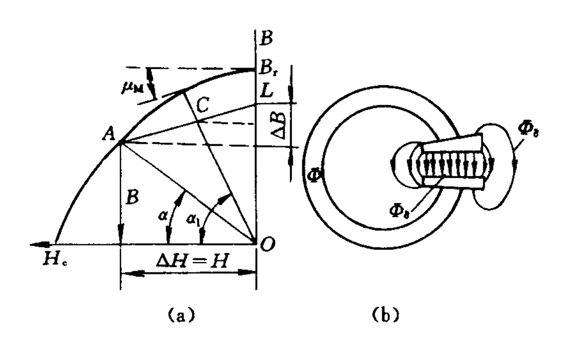


图 3-4　磁铁在回复直线上的工作点

(a) 磁铁曲线图；(b) 带极靴的环形磁铁

OA—无极靴的外磁路磁阻（R_δ）；*OC*—带极靴的外磁路磁阻（$R_{\delta 1}$）

在去磁曲线 *A* 点上，如图 3-4(a) 所示，那么增大外磁化力后，磁铁磁感应强度将增大。然而，此时磁化过程却不是沿着曲线 $A\ B_r$ 上升，而是沿着通常低于曲线 $A\ B_r$ 的次磁滞曲线 *A L* 进行。此磁滞曲线称为磁回复直线，简称回复线。在 $\triangle H$ 范围内，多次改变磁场强度，磁铁状态将由回复线 *A L* 所决

定。永久磁铁工作点在回复线上，其磁性能是可逆的。可通过改变磁铁外磁路磁阻得到这一结果。无软铁极靴的磁铁在回复线 A 点工作，而对带软铁极靴的磁铁，则移至回复线的 C 点工作。这是由于磁铁外磁路磁阻后者较前者小的缘故，如图 3-4(b)所示。

第四节　永磁材料

磁性材料可以分为两类，即：软磁材料（如电工钢板、纯铁等）和硬磁材料（如镍铝钴、铁氧体、稀土钴等永磁材料）。前者导磁率高、矫顽力和剩磁小；后者导磁率低、矫顽力和剩磁大。常称的永久磁铁，在实用上称为磁钢。本书以后按实用上的称呼，称为磁钢。

在永磁电机中永磁材料的性能高低将显著影响电机的性能、外形尺寸和运行可靠程度，因此它是设计和制造永磁电机的极为重要的参数。图 3-5 描出了在汽车、拖拉机、摩托车发电机中常用的几种永磁材料的去磁曲线。

铁氧体磁钢（又称铁氧体磁铁或称铁氧体永磁）是一种不含镍、钴等贵重金属的永磁材料，它是由金属氧化物构成的化合物，类似陶瓷，与铝镍钴磁钢相比较，具有矫顽力高、电阻率高、价格低等优点，缺点是剩余磁

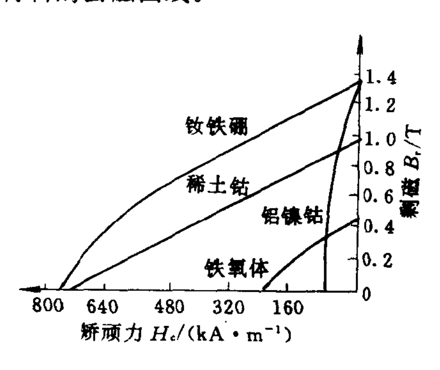


图 3-5　几种永磁材料去磁曲线

感应强度 B_r 较低、剩磁温度系数较大。铝镍钴磁钢 B_r 较高，矫顽力 H_c 较小、价格比铁氧体磁钢较高，但与稀土钴磁钢、钕铁硼磁钢相比较，其价格又低得多。稀土钴磁钢是一种新型永磁材料，它具有 B_r、H_c、$(BH)_{max}$均很高，且温度系数小等优点，但价格昂贵。钕铁硼磁钢 B_r、H_c 均较高，其磁能积很大，但价格比稀土钴磁钢低得多。表 3-1 为上述几种磁钢的技术性能。

表 3-1　几种磁钢的技术性能

性能参数 种类 / 参数名称	锶铁氧体 ($S_rO \cdot 6Fe_2O_3$)	铝镍钴 (AlNiCo)	稀土钴	钕铁硼 (NdFeB)
B_r/T	0.42	1.28	0.95	1.3
$H_c/(kA \cdot m^{-1})$	240	76	720	760
$(BH)max/(kJ \cdot m^{-3})$	28	40	175.2	286.6
$\alpha_{Br}/(\% \cdot ℃^{-1})$	−0.18～−0.2	−0.02～−0.05	−0.05	−0.06

由于拖拉机、摩托车上的永磁发电机功率较小，一般选用铁氧体磁钢或铝镍钴磁钢；汽车上的永磁发电机一般选用钕铁硼磁钢或稀土钴磁钢。

第五节　摩托车用永磁交流发电机

摩托车永磁交流发电机是现代摩托车电气设备的重要组成部分，由转子和定子等组成。从转子结构来看，可分为转子在定子外圆上旋转的飞轮式永磁交流发电机（即飞轮磁电机）和转子在定子内孔中旋转的内转子式永磁交流发电机。这类发电机主要作为点火，或点火照明用，或点火、蓄电池充电以及照明用。从点火型式来看，又可分为有触点点火系和无触点

点火系，而后者又可分为C.D.I. 点火系和P.E.I. 点火系等。

一、飞轮式永磁交流发电机（即飞轮磁电机）

摩托车用的飞轮一般兼作为永磁交流发电机（即飞轮磁电机）的外转子（如图3-6）。在飞轮的轮圈上镶有4～6块永磁磁钢，它们固定在一起，既是飞轮的主要质量，又是交流发电机的永磁转子。飞轮的作用是利用其旋转惯性来提高发动机曲轴旋转的均匀性。这是因为飞轮在发动机燃烧膨胀行程（作功行程）中储蓄能量，在其余行程（进气、压缩和排气）中释放能量，从而保证发动机曲轴旋转运动平稳地工作。

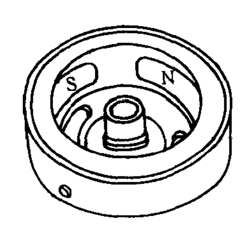


图3-6 飞轮转子

对于嘉陵CJ50、重庆JT50、渭阳WY50等摩托车，其飞轮式永磁交流发电机被安装在曲轴的右端（朝车辆行驶方向）；而重庆—雅马哈CY80、铃木A100、AX100等摩托车，其飞轮式永磁发电机被安装在曲轴的左端。

（一）有触点飞轮式永磁交流发电机及其有触点点火系

1. 有触点飞轮式永磁交流发电机的构造

图3-7为铃木A100摩托车上应用的一种有触点飞轮式永磁交流发电机。飞轮转子13是钢制圆盘，在内圆上镶有四块永磁磁钢，飞轮中心部分铆接有带点火凸轮的钢制轴套，通过半圆键18能方便地将飞轮转子安装在发动机曲轴上。飞轮式永磁交流发电机的定子1由支架、照明充电线圈2、点火电源线圈3、断电器6、电容器10等组成，定子1通过支架上三个固定孔用螺钉固定在曲轴箱上。

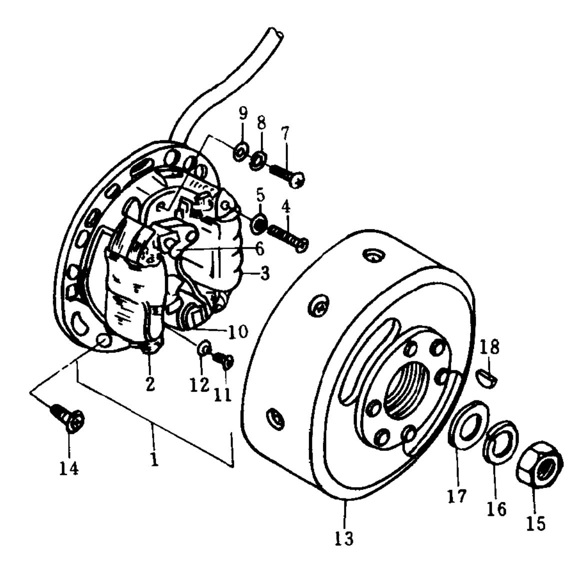


图 3-7　铃木 A100 摩托车有触点飞轮式永磁发电机
1—定子;2—照明充电线圈;3—点火电源线圈;4—螺钉;5—弹簧垫圈;6—断电器;7—螺钉;8—弹簧垫圈;9—垫圈;10—电容器;11—螺钉;12—弹簧垫圈;13—飞轮转子;14—螺钉;15—螺母;16—弹簧垫圈;17—垫圈;18—半圆键

2. 有触点点火系

图 3-8 为铃木 A100 摩托车上有触点飞轮式永磁交流发电机(即飞轮磁电机)的点火系,其整个点火系由飞轮式永磁发电机、断电器、点火线圈,高压导线,火花塞等组成。点火电源线圈、断电器、电容器安装在飞轮式永磁发电机的定子上。

当发动机曲轴带动发电机的飞轮转子旋转时,由四块磁钢形成的旋转磁场将切割点火电源线圈和照明充电线圈,在线圈中感应交变电流。点火低压线圈的交变电流被送入点火线圈(点火线圈实际上是一个变压器,它主要由初级绕组和次

级绕组以及铁心等组成)的初级绕组。当凸轮将断电器的触点断开时，由于电路突然断开，于是在点火线圈中产生感应电动势，其初级绕组上电压可达 250～300 V，而次级绕组上电压可达 10 000～20 000 V，其产生的高电压送至火花塞而发出火花。火花塞火花点燃发动机气缸内压缩后的可燃混合气，从而使发动机作功。

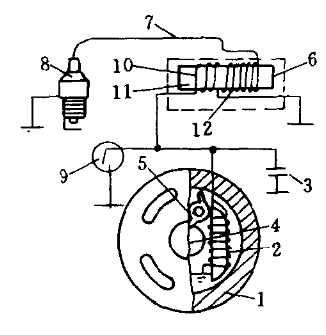


图 3-8 有触点飞轮永磁发电机点火系

1—飞轮永磁发电机；2—点火电源线圈；3—电容器；4—凸轮；5—断电器；6—点火线圈；7—高压导线；8—火花塞；9—点火开关；10—初级绕组；11—铁心；12—次级绕组

电容器与断电器的触点并联，其作用是消除过大的电流对触点的烧蚀。点火开关控制点火系工作，当点火开关被拨到搭铁的位置上时，发动机立即熄火停车。

（二）无触点飞轮式永磁交流发电机及其无触点点火系

1. 无触点飞轮式永磁交流发电机的构造

该机与前述飞轮式永磁交流发电机相似，如图 3-9 所示。在飞轮转子内缘有四块永磁磁钢，其极性以 N—S—N—S 排列，飞轮中心有一个轴套，用来将飞轮安装在发动机的曲轴上，以便与发动机曲轴可一起旋转。发电机定子上有二个线圈，一个是照明线圈，供照明用电之用；另一个是点火充电线圈，其产生的感应电动势经电子点火控制器内的二极管，向电容器充电。该机与前述飞轮式永磁交流发电机不同处是没有触点和凸轮装置，而增添了触发线圈(即脉冲线圈)，且在点火系中设有电容放电点火控制装置(即 C.D.I 装置)。

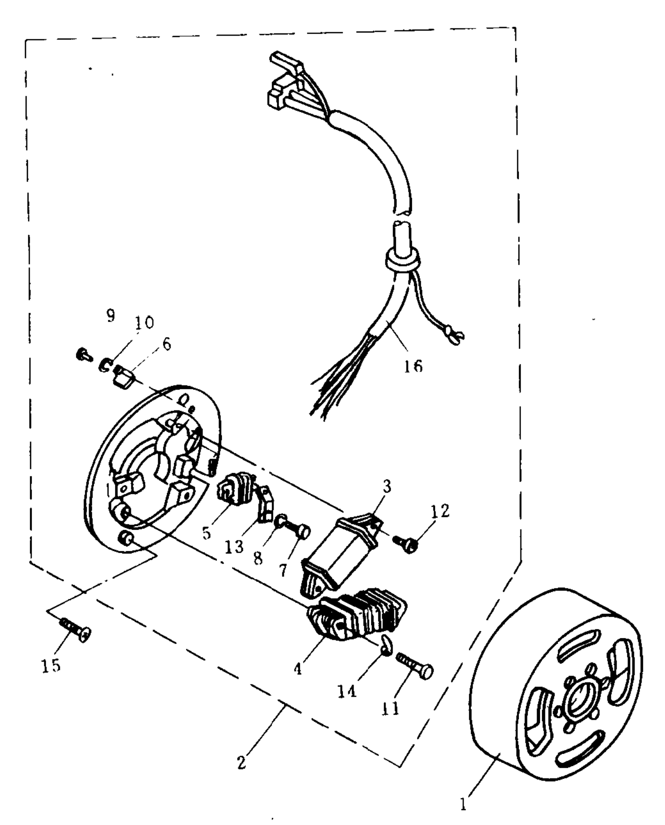


图 3-9　CY80 摩托车无触点飞轮式永磁发电机

1—飞轮转子；2—定子总成；3—充电线圈；4—照明线圈；5—脉冲线圈；6—夹持器；7—螺钉；8—弹簧垫圈；9—螺钉；10—弹簧垫圈；11—螺钉；12—螺钉；13—接地接线柱；14—接地接线柱；15—平头螺钉；16—电缆总成

2. 可控硅及其触发电路

可控硅自本世纪 50 年代末研制成功以来，已渗透到科学

技术的各个领域。在摩托车领域主要是利用在其控制极上加一定功率的控制信号(即触发信号),可控硅即导通的特性作为电子开关使用。如图3-10所示,可控硅是一个四层三极半导体元件,从阳极到阴极依次为P—N—P—N,分别组成三个PN结。它有三个极:阳极(a)、阴极(c)和控制极(g)。

下面通过实验对可控硅导电特性作一些简要分析。按图3-11所示的装置,按下开关K_1灯泡不亮;再按下开关K_2灯泡亮,这说明可控硅就导通了。这时断开开关K_2,由于控制极

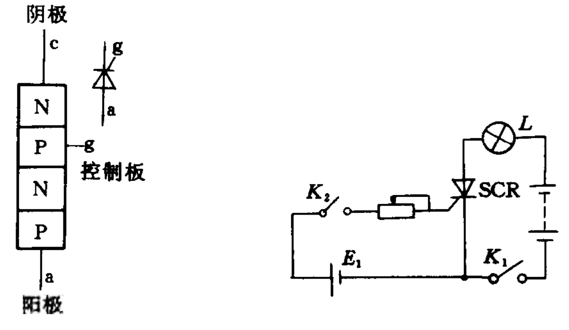


图3-10 可控硅结构示意图及其表示符号　　图3-11 可控硅特性实验电路

已失去作用,可控硅仍维持导通状态。再断开开关K_1或减小阳极电流(即减小阳极正向电流)到一定值,可控硅关断,电灯灭。若阳极接电源负极,阴极接电源正极(即可控硅处于反向电压下),或控制极加负电压,可控硅不导通。因此,可控硅导通必须同时具备两个条件:(1) 可控硅加上一定的正向阳极电压;(2) 控制极要加适当的正向控制电压(触发信号)。

3. 无触点点火系

无触点点火系,即无触点电子点火系统,英文简写为

P. E. I. (Pointiess Electronic Ignition)。电容放电点火系是无触点电子点火系的一种主要形式。电容放电点火系通常又称为 C. D. I. (Capacitance Discharge Ignition)点火系。传统的中小型摩托车上常采用的有触点点火系，由于其断电器机械触点磨损快，致使点火提前量不稳定，点火电压上升慢，对发动机气缸内的混合气燃烧不利，并常有缺火现象，造成启动性能差等弊病。而 C. D. I. 点火系，则避免了以上弊病，其优点是电压稳定、火花塞积碳少、无触点磨损故障、不需调整保养。此外，对点火提前角又具有自动调节功能。

无触点电容放电点火系可分为触发线圈内装式、触发线圈外装式，以及触发线圈与点火电源线圈共用式。

图 3-12 为触发线圈内装式无触点飞轮永磁交流发电机

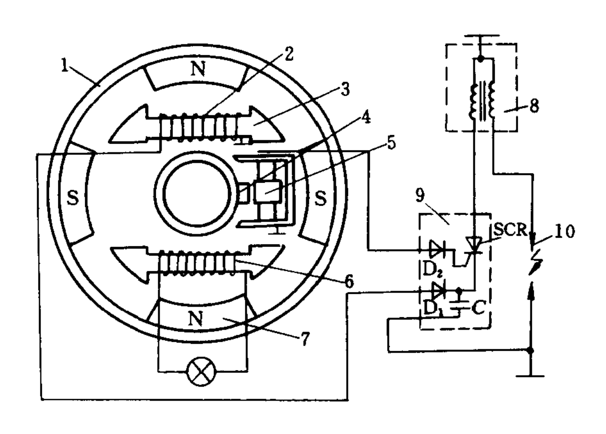


图 3-12 内装触发线圈无触点飞轮永磁交流发电机及其点火系电路

1—飞轮式永磁交流发电机；2—点火电源线圈；3—定子铁心；4—触发极；5—脉冲信号发生器；6—照明线圈；7—磁极；8—点火线圈；9—电子点火控制器；10—火花塞

及其电容放电点火系电路。当飞轮旋转时，固定在定子上的点火电源线圈 2、脉冲信号发生器 5 内的触发线圈被飞轮上的永磁钢激励，分别产生电容充电电压和控制点火正时的信号电压。在点火电源线圈上产生的感应电动势经二极管 D_1 整流后向电容器 C 充电，使电能暂时储存在电容器内。飞轮上触发极 4 掠过发生器 5 时，就会在发生器的触发线圈内产生一个脉冲电压而触发可控硅 SCR，可控硅 SCR 导通，经过可控硅 SCR、电容器 C 向点火线圈的初级线圈迅速放电，从而在点火线圈次级线圈中感应出高压电，使火花塞产生电火花。当电容器 C 的放电电流低于可控硅 SCR 的维持电流时，可控硅 SCR 由导通状态又转为截止状态，然后电容器 C 重新充电、放电、周而复始地进行。

图 3－13 为触发线圈外装式无触点飞轮永磁发电机及其电容放电点火系电路。它也由飞轮式永磁交流发电机、电子点火控制器、点火线圈、火花塞等组成，但其触发极安装在飞轮的外侧，触发线圈绕在独立的信号发生器铁心上。

图 3－14 所示为幸福牌 XF125 系列摩托车上采用的 C.D.I. 电容放电点火系电路，该点火系中触发线圈也安装在飞轮式永磁发电机的外侧。点火开关 2 断开时，带永磁磁钢的飞轮转子随发动机曲轴同步旋转，形成旋转磁场，在点火电源线圈中感应出正负交变的感应电动势。当其上端为正时，二极管 D_2 导通，电容器 C 开始充电（充电电压 100～400 V）。充电电流从点火电源线圈出发，经二极管 D_2、电容器 C 及点火线圈的初级线圈形成回路。当飞轮随曲轴旋转到点火位置时，触发线圈产生触发信号。触发信号经控制门输出一个电压给可控硅 SCR 的控制极，使可控硅 SCR 导通，电容器 C 经可控硅 SCR 向点火线圈初级线圈迅速放电，从而在次级线圈上感应

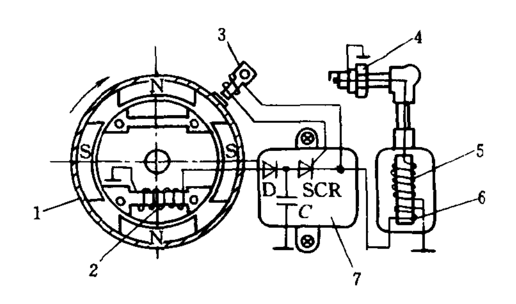


图 3-13　外装触发线圈无触点飞轮式永磁发电机及其点火系电路

1—飞轮式永磁发电机；2—点火电源线圈；3—脉冲信号发生器；4—火花塞；5—次级线圈；6—初级线圈；7—电子点火控制器

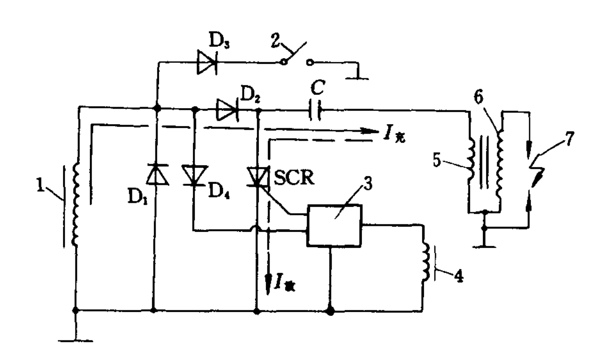


图 3-14　XF125 电容放电点火系电路

1—点火电源线圈；2—点火开关；3—控制门；4—触发线圈；5—点火线圈的初级线圈；6—点火线圈的次级线圈；7—火花塞

出高压电，使火花塞产生电火花。当点火电源线圈下端为正时，二极管 D_1 导通，此时该电流从点火电源线圈的下端经二极管 D_1 流至点火电源线圈上端，此电流与充电电流相反，故其对点火电源线圈有去磁作用。当点火开关闭合时，点火电源线圈产生的电动势无论上正下负或下正上负，二极管 D_3 均导

通，电流流经点火开关而搭铁，电容器 C 不充电，点火线圈次级线圈不产生高压，故火花塞也不会发出火花。

无触点点火系统的点火时刻是由触发线圈产生的触发信号控制的。这种点火系统不仅点火及时，而且能自动进角，即能实现电子自动调节。在上述无触点点火系统中，触发信号是由点火电源线圈两端的电压通过触发线圈产生的。当发动机转速提高时，飞轮的转速也随之提高，点火电源线圈的端电压也就愈高，触发线圈产生的可控硅 SCR 的触发信号电压也愈高，如图 3-15 所示。但是可控硅 SCR 的触发电压是恒定的。无论发动机处于低速、中速或高速，只要触发线圈产生的触发信号达到可控硅导通时的触发电压额定值，可控硅就导通，点火线圈次级线圈产生高压，使火花塞发出火花。当发动机低转速 n_1 运转时，可控硅 SCR 在 F_1 点被触发导通，此时点火提前角为 θ_1；当发动机中速 n_2 运转时，可控硅 SCR 在 F_2 点被触发导通，此时点火提前角为 θ_2；当发动机高速 n_3 运转时，可控硅 SCR 在 F_3 点被触发导通，此时点火提前角为 θ_3。θ_1 至 θ_3 为低速至高速的点火自动提前量，即自动进角。由此可知，点火电源线圈的端电压随转速而提高，触发线圈产生的可控硅触发信号电压也随转速而提高，提前到达触发电压的额定值，使其提前导通，从而实现该点火系统点火自动调节。

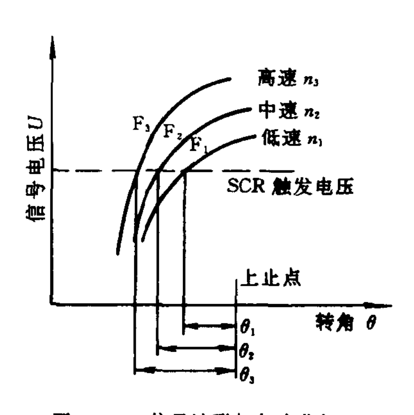


图 3-15　信号波形与自动进角

以上介绍了触发线圈内装式无触点飞轮永磁交流发电机及其点火系电路、触发线圈外装式无触点飞轮永磁交流发电机及其点火系电路，现在再简要介绍一种触发线圈与点火电源线圈共用的无触点飞轮永磁交流发电机及其点火系电路，

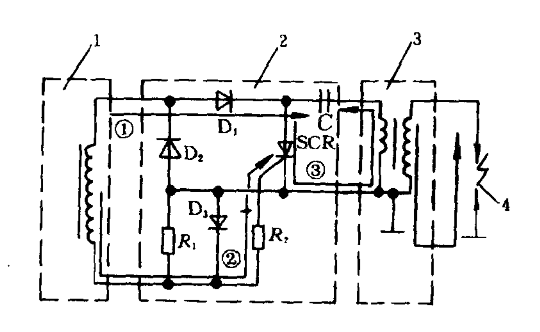


图 3－16　触发线圈与点火电源线圈共用的无触点飞轮式永磁交流发电机及其点火系电路

1—触发线圈与点火电源线圈共用的飞轮式永磁发电机；2—P. E. I. 装置；3—点火线圈；4—火花塞

如图 3－16 所示。该点火系统点火电源线圈与触发线圈为一体，与前述两种不同的是其固定位置与点火系的点火提前角有关。点火电源线圈(同时又作为触发线圈)被固定在底板上，改变底板的固定位置可以调整点火提前角。在图 3－16 中，①表示充电电流 $I_{充}$；② 表示触发电流 $I_{触发}$；③ 表示放电电流 $I_{放}$。

（三）可控硅脉冲交流调节器及其稳压电路

由于永磁交流发电机以永磁磁钢作为激磁场，因此不能采用控制激磁电流的方法调节电压。摩托车采用的永磁交流发电机通常利用硅二极管的整流作用，使其发出的交流电转换成直流电，同时依靠蓄电池的充放电性能达到控制电压大

小的目的。所以一般永磁交流发电机不用调节器。但这种电路的缺点是如果使用不当、蓄电池失效，蓄电池就不能起稳压作用，会烧毁灯泡或其它电器。大容量蓄电池价格高、体积大、易损坏，所以对于某些小型摩托车还是采用调节器为佳。对于大中型摩托车其转速变动范围大，为满足较好照明，使用调节器是必要的。永磁交流发电机的电压调节器与众不同，由于其不能采用控制激磁电流的方法，因而采用对其电枢电路进行调节的方法。

下面介绍一下可控硅脉冲交流调节器电路基本工作原理。如图 3－17 所示，其插片接飞轮永磁发电机照明线圈的中心抽头，外壳接地。当飞轮随曲轴旋转时，照明线圈上产生脉冲交流电，过高的峰值电压由调节器削平，使其稳定在规定值内(例如对摩托车电系一般为 6 V 或 12 V 左右)，以非正弦交流电的形式使前大灯与后尾灯的灯泡发亮。晶体三极管基极被接在分压电路上。三极管由飞轮永磁发电机照明线圈供电，经二极管 D_1 整流后开始工作。然而，三极管只有半周工作：当上正下负时，因二极管 D_1、D_2 处于反向而不导通，三极管截止可控硅 SCR 不导通。这相当于照明线圈抽头端与接地端未接入调节器；当下正上负时，经二极管 D_1 整流，交流电变换成直流电，不仅向电容器 C 充电，以稳定发射极电压，还使三极管导通，经三极管放大，其集电极电压作为可控硅 SCR 的控制触发电压，此电压随飞轮转速的增高而增高。当飞轮转速在高速时，

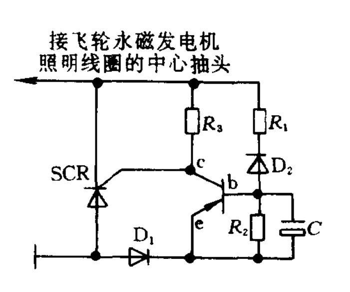


图 3－17　可控硅脉冲交流调节器电路之一

可控硅 SCR 的控制极电压达到触发电压额定值时，可控硅 SCR 导通。此时，这使与之并联的照明线圈抽头端至接地端输出近似短路。于是，照明线圈输出电压即下降，可控硅的控制电压也随之降至触发值以下，可控硅又处于截止状态，从而使摩托车照明电路供电趋于恒定。中、低速时，照明线圈两端电压低，可控硅 SCR 的控制极电压未达到触发值，这时飞轮永磁发电机输出允许电压供给用电器。

图 3－18 为可控硅脉冲交流调节器又一种电路。当总开关闭合，发动机转速上升时，交流发电机的输出电压随之提高，此时蓄电池已充满电，则调节器分压电阻上的电压也相应升高。当此电压一旦达到发电机调节电压规定值(例如 6 V 左右)，则调节器内的稳压管 CW 反向击穿而导通，从而触发可控硅 SCR 导通，这时交流发电机输出端与接地端处于短路状态，因此电压下降。当调节器内分压电阻上的电压降低时，稳压管便截止，可控硅控制极电压下降而不导通，这又使发电机的输出电压提高，如此周而复始，使发电机电压恒定在规定值内。

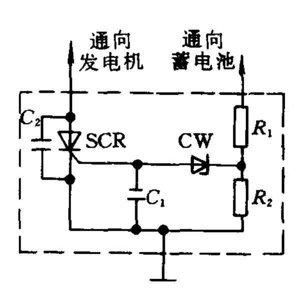


图 3－18　可控硅脉冲交流调节器电路之二

幸福牌 XF125 型摩托车采用飞轮永磁交流发电机，其定子上的一个点火电源线圈向点火系统提供电源，另一个向蓄电池充电和供各照明负载用电，如图 3－19 所示。现按其负载电压控制和蓄电池充电电流控制两部分来分析其电路原理。

当发动机转速较高时，飞轮永磁发电机经黄色引出端分为二路，一路为各照明灯 L 供电；另一路经单相全波桥式整

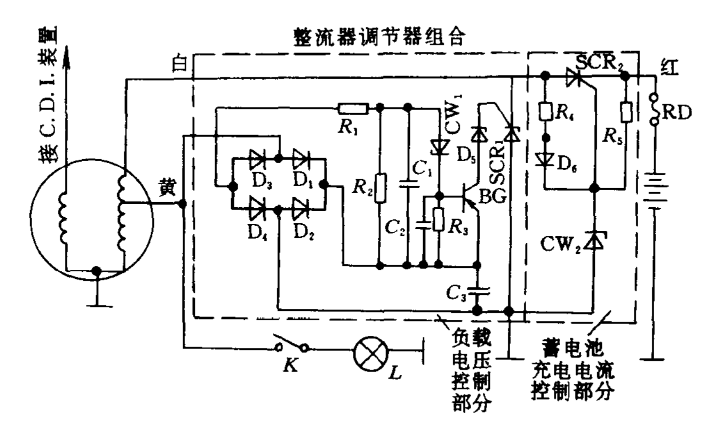


图 3－19　XF125 摩托车整流器调节器电路

流电路、电容器 C_1 和电阻 R_1 形成回路，对电容器 C_1 充电。当电容器 C_1 的充电电压大于稳压管 CW_1 的击穿电压时，CW_1 导通，对 C_2、R_3 电路充电，使三极管基极电压升高，三极管导通，其集电极电流触发可控硅 SCR_1，使其导通。此时飞轮永磁发电机相应的输出线圈几乎处于短路状态，其相应的输出线圈电压下降，稳压管 CW_1 截止，三极管也相应截止，这时相应输出线圈电压又上升，如此周而复始，使照明电压控制在规定值内。

图 3－20 所示为摩托车在低速、中速、高速时飞轮永磁发电机照明线圈输出负载电压波形。当摩托车转速增高，永磁交流发电机输出电压增高，电容器的充电量加快，从而使可控硅导通角也随之增大，波形被削去部分增大，限止了电压的升高。反之，摩托车转速下降，电容器的充电量减小，于是可控硅的导通角也随之减小，又限止了电压的下降。摩托车转速继续下降，永磁发电机输出电压也降低，当电容器的充电电压低于

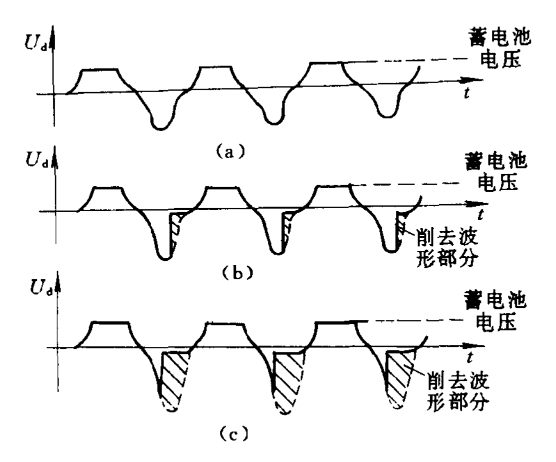


图 3-20 调节后照明线圈负载电压波形

(a) 低速；(b) 中速；(c) 高速

稳压管 CW_1 的临界击穿电压时稳压管 CW_1 截止，三极管截止，可控硅无触发电压，其也相应截止。这时永磁交流发电机输出电压全部加在照明负载上，蓄电池停止充电。由此可知，由于可控硅 SCR_1 的开关调节作用，照明负载电压有效值被稳定在规定值范围内，使摩托车在不同转速下均能得到良好的道路照明。

在摩托车永磁交流发电机输出电压正半周时，发电机的白色引出端为正向电压，当其正半周电压超过蓄电池电压时，电阻 R_4、二极管 D_6 及电阻 R_5 流过正向电流。当电阻 R_5 上的电压降增大到某一规定值时，可控硅 SCR_2 触发导通，从而实现对蓄电池充电。如果蓄电池因充电而使其电压达到一定值时，由于稳压管 CW_2 被反向击穿而导通，电阻 R_5 流过反向电流，可控硅 SCR_2 控制极电压低于触发电压而无法再触发，可

控硅 SCR_2 截止，从而有效地防止了蓄电池的过充电。

（四）交流供电的照明系统

摩托车照明系统的作用是供其夜间行驶提供各种照明灯光，其各种灯具包括前灯、后尾灯、仪表照明灯等。

图 3－21 为交流供电的照明系统基本电路，其电源由飞轮永磁交流发电机直接供给。铃木 A100 和 AX100、重庆—雅马哈 CY80、嘉陵—本田 JH70、幸福 XF125 等摩托车都采用这一类交流供电的照明系统。

为保证夜间行驶安全，摩托车装有前灯，它主要是照亮摩托车的前方的道路，这使驾驶员能辨明前进道路上的情况，同时也给迎面而来的行人、车辆发出信号。在图 3－21 中，市内行车灯 5、近光灯 6、远光灯 7 均被设置在前灯内。灯泡的额定电压为 6 V，市内行车灯功率一般为 3～5 W，而近光灯、远光灯功率一般为 15～25 W。近光与远光的变换由前灯内的双丝灯泡来实现。双丝灯泡中的一束灯丝位于前灯内抛物线反光镜的焦点上，能形成聚光的平行光束射向远方，故称为远光。而另一束灯丝则不在抛物线反光镜的焦点上，它位于远光灯丝的上方，其一部分光线经向上方反射后，绝大部分光线则倾向路面，因此照的距离近，故称为近光。在一般情况下照亮道路采用远光，但当两车交会时强大的远

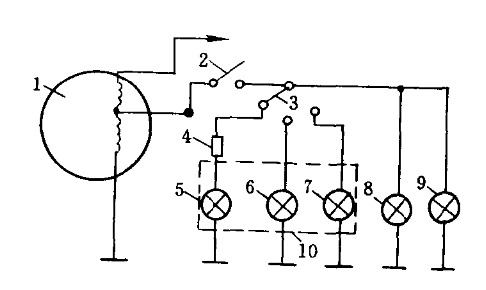


图 3－21　交流供电的照明系统基本电路

1—飞轮式永磁交流发电机；2—总开关；3—变光开关；4—电阻；5—市内行车灯；6—近光灯；7—远光灯；8—尾灯；9—仪表照明灯；10—前灯

光束会使迎车驶来的驾驶员产生眩目作用，这时采用近光灯就避免了眩目作用。后尾灯能以醒目的红光示警，它不仅能照明牌照，而且作为后面的灯光标志，示警后面来车应保持一定行驶距离。

（五）信号系统

信号系统的作用是产生声、光信号，指示车辆行驶状态，提醒来往车辆和行人注意，保证车辆的行驶安全。图 3－22 所示为装用无触点飞轮式永磁交流发电机摩托车信号系统电路

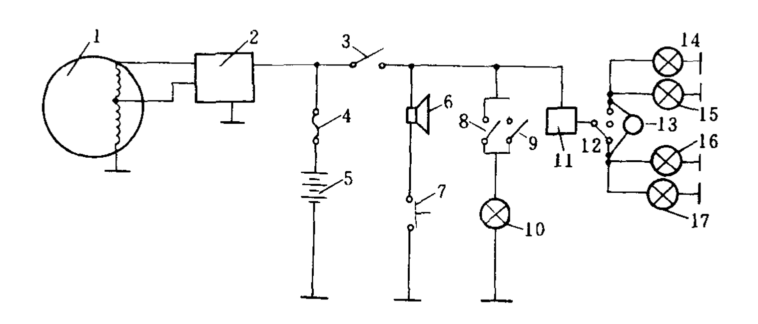


图 3－22 装飞轮永磁交流发电机摩托车信号系统电路

1—飞轮式永磁交流发电机；2—整流器调节器组合；3—总开关；4—保险丝；5—蓄电池；6—喇叭；7—喇叭开关；8—前制动信号开关；9—后制动信号灯开关；10—制动信号灯；11—闪光继电器；12—转向开关；13—音频器；14—前左转向灯；15—后左转向灯；16—前右转向灯；17—后右转向灯

原理图。铃木 A100、铃木 AX100、重庆—雅马哈 CY80、嘉陵—本田 JH70、幸福 XF125 等摩托车均采用这种类型的信号系统电路。信号系统由信号设备，如电喇叭、转向信号灯、闪光器、制动信号灯等；信号控制开关，如喇叭按钮、转向开关、制动开关等组成。

当接通总开关时，若发动机工作，充电电路部分便开始向蓄电池充电，即飞轮永磁交流发电机的照明线圈经中心抽头所输出的交流电，通过整流器整流为直流电后向蓄电池充电。当发电机电压低于蓄电池端电压时，照明系统和信号系统由蓄电池供电，当发电机电压高于蓄电池时由发电机向各用电设备供电。

摩托车均采用电喇叭，它利用电磁作用使金属膜振动而发出声响，以警告车辆和行人。摩托车的转向信号灯有前左、后左以及前右、后右两组，分别与闪光继电器一起组成转向信号指示装置。音频器可及时提醒驾驶员在摩托车转向完成后关闭转向灯。制动信号灯与尾灯一起被装置红色尾灯灯罩内，尾灯用来照明牌照，同时作为后面的灯光标志，示警后面来车应保持一定行驶距离，而制动信号灯的作用是当摩托车制动时，制动信号灯发亮，警告后面来的车辆应及时减速或制动。制动信号灯的功率一般较尾灯要大些，例如对 6 V 系电路，制动信号灯采用 6 V 10W，而尾灯采用 6 V 5.3 W。

二、凸极式与爪极式永磁交流发电机

凸极式永磁交流发电机与爪极式永磁交流发电机，它们转子结构不同，但均是发电原理相同的永磁同步发电机，在摩托车电系中它们的用途和使用方法相同，其点火系、照明系、信号系电路也均相同。

（一）凸极式永磁交流发电机

图 3－23 为摩托车用凸极式永磁交流发电机的结构。这种发电机也由定子和转子等部分组成。定子由电枢线圈和定子铁心组成，该发电机是六极单相交流发电机。电枢绕组由六个电枢线圈组成，被嵌放在六个凸齿的定子铁心上。定子铁心

由带凸齿的定子铁心片(由电工钢板冲制而成)叠压后焊接而成。其转子有三对N—S极永磁磁钢,磁钢与转子用非导磁材

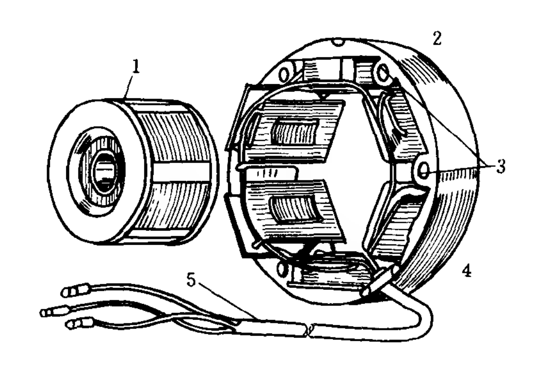


图3-23 凸极式永磁交流发电机
1—凸极式永磁转子;2—电枢线圈;3—螺孔;4—定子铁心;5—输出引线

料(例如铝等)铸成一体,如图3-24所示。凸极式转子由于其形状如“星形”,故又称星形转子。凸极式永磁转子可分为无极靴式和有极靴式二种。有极靴凸极式永磁转子的结构较复杂,但能减小永磁磁钢受发电机横轴电枢反应去磁作用的影响。选择合理的极靴形状,还可改善气隙磁场的波形,调整和提高磁钢工作点的位置。

图3-25为凸极式永磁交流发电机的磁路。主磁通从永磁转子N极出发,经定、转子之间的气隙,穿过定子铁心齿,然后分为两路经相邻的定子铁心轭、各自相邻的定子铁心齿,以及定转子之间的气隙,与相邻的永磁转子S极形成回路。

当摩托车发动机旋转时,凸极式永磁转子也同步旋转,这样,旋转磁场不断切割定子上的电枢线圈,使其产生感应交流电,向外电路供电。

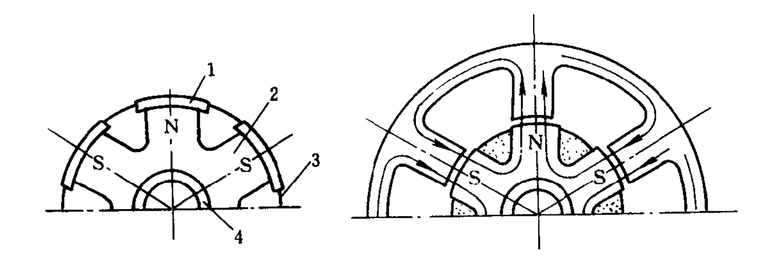


图 3-24　带极靴凸极式永磁转子

1—极靴；2—永磁磁钢；3—铝；4—轴

图 3-25　凸极式永磁交流发电机的磁路

1—定子；2—永磁转子

图 3-26 为 C90 型摩托车用凸极式永磁交流发电机。这

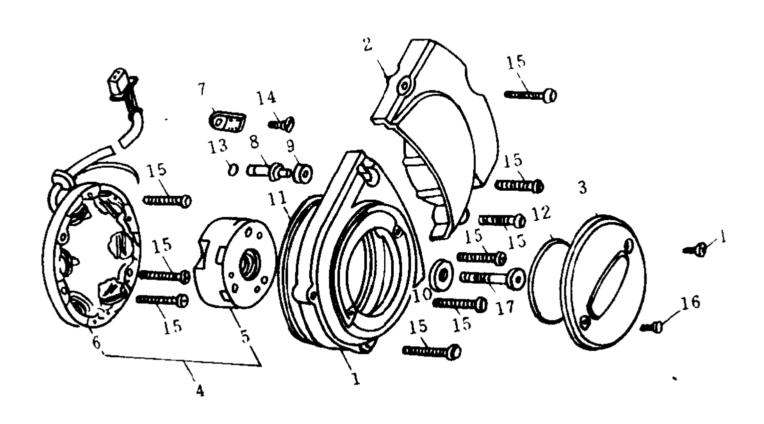


图 3-26　C90 型摩托车用凸极式永磁交流发电机

1—发电机壳；2—侧端盖；3—前端盖；4—发电机本体；5—转子；6—定子；7—接线头；8—接线柱；9—套；10、13—垫子；11、12—垫圈；14、15、16、17—螺钉

种发电机的定子也由六个电枢线圈组成，定子孔内装有以曲轴带动的凸极式永磁转子，在转子圆周均匀地分布着永磁钢，

磁钢与转子铸成一体，由于永磁磁钢具有较强的磁性能，故其定子铁心的轴向长度可制得较短。

（二）爪极式永磁交流发电机

图 3－27 为 XF250 系列摩托车用的爪极式永磁交流发电机外形尺寸图，其型号为 G76B，电压 8 V、功率 60 W，额定

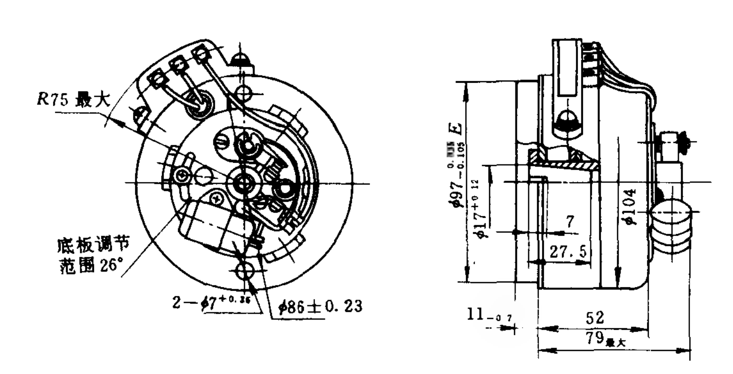


图 3－27　G76 系列爪极式永磁交流发电机安装及外形尺寸图

转速为 2 500 r/min 负极接地。该机与单相桥式全波硅整流器联合工作，并与电压 6 V 的蓄电池并联，供摩托车照明、蓄电池充电用。发电机具有断电器装置，与点火线圈配合，供发动机点火使用。XF250A、XF250B、XF250C、XF250D 等摩托车统一使用 G76B 型爪极式永磁交流发电机。硅整流器型号为 GS15。原 XF250A 摩托车使用 G76 型，其电压为 8 V，功率为 45 W。

XF250 系列摩托车用爪极式永磁交流发电机的结构如图 3－28 所示。它由定子、转子、端盖等组成。硅整流器与发电机分离安装。

定子由定子铁心、电枢绕组等组成，定子铁心由氧化膜绝缘的定子铁心片叠压而成，定子铁心片采用电工钢板冲压而

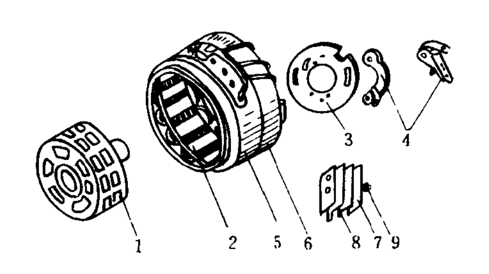


图 3-28　爪极式永磁交流发电机的结构

1—爪极式永磁转子；2—电枢线圈；3—调节底板；4—断电器；5—定子；6—端盖；7—硅整流器；8—硅整流器正极；9—硅整流器负极

成，定子铁心槽内嵌放着单相电枢线圈，定子被固定在曲轴箱上。端盖上装有调节底板、断电器等，它们一起被固定在定子上。

爪极式永磁转子的激磁器，如图 3-29 所示。它由两个爪极导磁片和一个圆形磁钢组成。其左右两个爪极导磁片的爪极数相等，并互相交叉，沿圆周均匀分布通过两个爪极导磁片夹住中间的圆环形磁钢。爪极导磁片采用 10 号薄钢板冲制而成。磁钢沿轴向充磁，使其轴向平面一端为 N 极，另一端为 S 极，并通过爪极导磁片，使爪极式永磁转子的极性由轴向转变为径向。对于这种结构的小功率发电机，其圆环形磁钢一般采用廉价的高矫顽力的铁氧体磁钢。

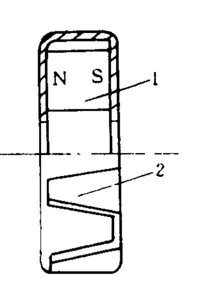


图 3-29　爪极式永磁转子的单个激磁器

1—铁氧体磁钢；2—爪极导磁片

XF250 系列摩托车上的爪极式永磁交流发电机，其转子为双并联永磁激磁器构成，如图 3-30 所示。采用并联结构永磁感应器目的是使永磁转子的激磁通倍

增，有利于缩小电机径向尺寸或提高功率。在普通结构的永磁电机中，电枢短路冲击电流对磁钢的去磁有很大的影响，由于爪极结构的永磁电机中，导磁片上的爪极极面上有利于产生涡流，此涡流对冲击短路电流能可靠地起到缓冲作用；同时爪极转子的漏磁很大，对电枢反应磁场也有一定的削弱作用，从而保证了永磁发电机性能的稳定性。在图 3－30 中，还画出了爪极式永磁发电机的磁路，其主磁通从永磁转子并联的磁钢 N 极出发，分别经各自的 N 极爪极导磁片，通过定转子之间的气隙，并联穿过定子铁心齿，然后分二路分别经过各自相邻的定子铁心轭，穿过相邻的定子铁心齿，通过定转子之间的气隙，进入各自的 S 极爪极导磁片，然后各自回到 S 极磁钢形成

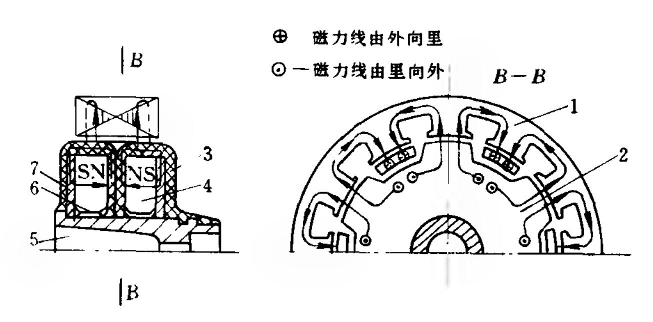


图 3－30　爪极式永磁交流发电机的磁路

1—定子；2—爪极转子；3—增强塑料；4—永磁磁钢；5—轴；6—支撑环；7—爪极导磁片

磁回路。为了消除磁分流，轴一般采用非导磁材料(如不锈钢、黄铜等)制成。爪极式永磁转子的爪极与爪极之间、爪极与磁钢外圆之间的气隙，以及爪极导磁片部分外表面均由塑料(例如尼龙等)压注而形成一个整体，使其转子外圆切削加工后易于去除铁屑，同时使转子坚固、耐用、美观。

爪极式永磁转子的锥状内孔被直接安装在曲轴上，锥孔内有一个键槽用于装配时定位，以保证转子总成与曲轴同步旋转，并控制转子上凸轮对火花塞点火正时。当爪极式永磁转子旋转时，形成旋转磁场。其不断地切割定子中电枢线圈，从而感应出交流电而对外供电。

（三）有触点点火系

图 3－31 为 XF250 系列摩托车的点火系，由蓄电池、断电器、点火线圈、电容器、火花塞等组成。

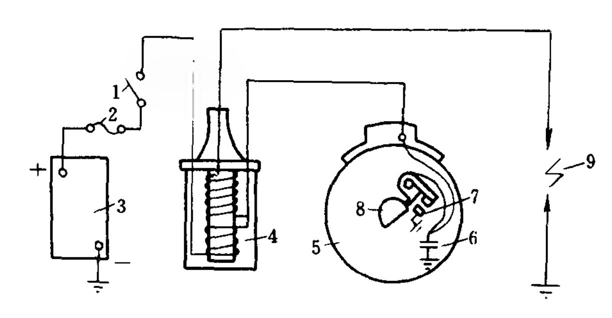


图 3－31　有触点点火系
1—点火开关；2—保险丝；3—蓄电池；4—点火线圈；5—永磁交流发电机；6—电容器；7—断电器触点；8—凸轮；9—火花塞

当接通点火开关 1，断电器触点 7（俗称白金触点）闭合时，电流从蓄电池 3→点火线圈 4→断电器触点 7→接地形成低压回路。此时点火线圈的初级线圈有电流流过，并产生磁场。当永磁交流发电机曲轴上凸轮 8 顶开触点 7 的瞬间，低压回路突然被切断，通过点火线圈的初级线圈的电流迅速消失，磁场也迅速减小，使穿过点火线圈的次级线圈的磁通发生急剧变化而产生强大的感应电动势。由于点火线圈初级匝数与次级匝数之比为 1:700 左右，所以在点火线圈的次级线圈被感应的电势可达 1.5×10^4 V 左右，这使火花塞的两极间产生

强烈的火花而定时点燃气缸内的混合气，使发动机工作。

在图 3－32 中可知，XF250 摩托车上永磁交流发电机的端盖上装有调节底板 7。在调节底板上装有固定触点 2 和活动触点 3。当两触点通过活动臂上弹簧片 8 的张力保持闭合时，固定触点 2 接地。这时蓄电池电流能经过点火线圈的初级线圈而形成低压回路。活动触点臂上的胶木顶块 5 顶在凸轮 4 上。当发动机转动时凸轮上的凸出部分顶开活动触点 3，点火线圈内的初级线圈电路被切断，从而能正时使火花塞产生强烈火花。断电器中还并联一只电容器，由于电容器有容电和放电的作用，当断电器的触点打开时，点火线圈内的初级线圈自感电流就流入电容器储存起来，然后又反方向放电流入其初级线圈，使点火线圈铁心磁场迅速去磁，从而有利于进一步增高点火线圈的次级线圈产生高压电。同时电容器还能减小触点间的火花而保护断电器触点不致烧毁。

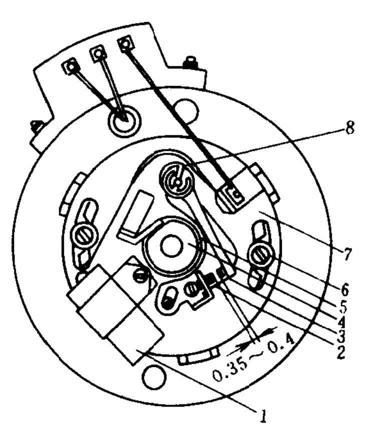


图 3－32 装在永磁交流发电机上的断电器

1—电容器；2—固定触点；3—活动触点；4—凸轮；5—胶木顶块；6—调节底板固紧螺钉；7—调节底板；8—弹簧片

（四）无触点点火系

图 3－33 为内转子式永磁交流发电机及其无触点点火系电路。雅马哈 YZ250、铃木 RM250 摩托车均属此种点火装置。

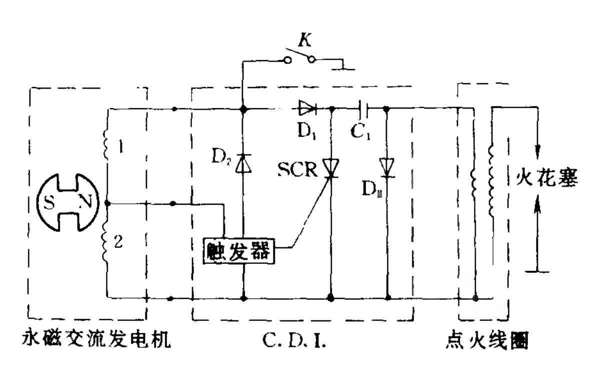


图 3－33　内转子式永磁交流发电机及其无触点点火系电路

在这种永磁交流发电机中配有两个线圈和一个两极永磁转子。电容器和电子控制电路都装在一个由环氧树脂充填硬化的方盒内。

永磁交流发电机运行时，永磁转子旋转，其点火电源线圈1在磁极的作用下产生的交流电经过二极管 D_1、电容器、点火线圈内的初级线圈形成闭合回路，电容器 C_1 被充电。在电容器 C_1 充电状态下，同时触发线圈2产生点火控制用的信号电压，它通过控制电流加在可控硅 SCR 上。当电流达到触发值时，就使可控硅由截止状态转为导通状态。电容器 C_1 通过可控硅、点火线圈内的初级线圈进行放电，使其次级线圈感应出高电压，在火花塞极间形成电火花，发动机点火。

这种电容放电永磁交流发电机还经过可控硅点火控制电路获得点火自动进角。它是由触发线圈2所发出的信号电压随永磁发电机的转速提高而相应提前，从而获得了相应的点火提前角。

（五）蓄电池稳压电路

当前，在摩托车中凸极式和爪极式永磁交流发电机一般都采用硅整流单相桥式全波整流器配合工作，同时与蓄电池并联，通过蓄电池的充放电起到稳定电源电压的作用，供摩托车充电照明之用。如图 3－34 所示为 XF250 摩托车蓄电池稳压电路。其硅整流器的外形如图 3－35 所示。电路原理如图 3－36 所示。

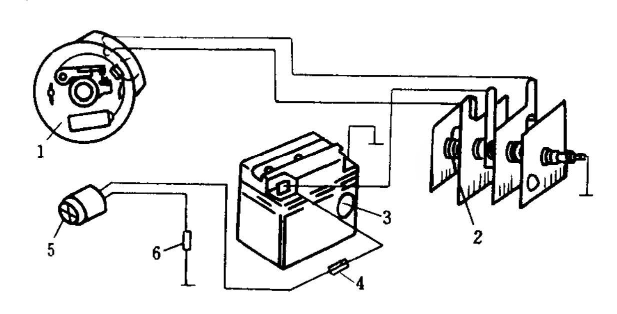


图 3－34　XF250 摩托车蓄电池稳压电路
1—G76B 型发电机；2—GS15 硅整流器；3—3M12 蓄电池；4—保险丝；5—点火开关；6—用电设备

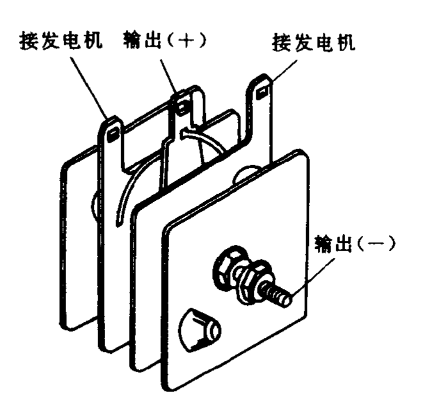


图 3－35　XF250 摩托车硅整流器外形

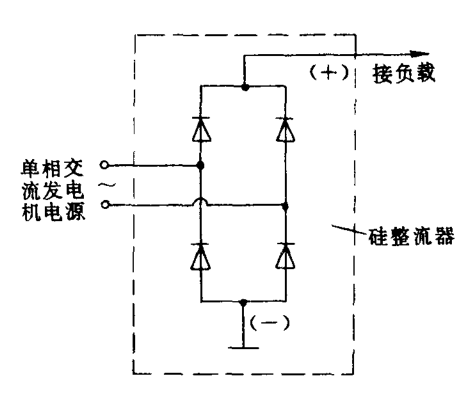


图 3－36　单相桥式全波整流器原理图

图 3－37 所示 XF250 摩托车硅整流器结构剖视图。由四

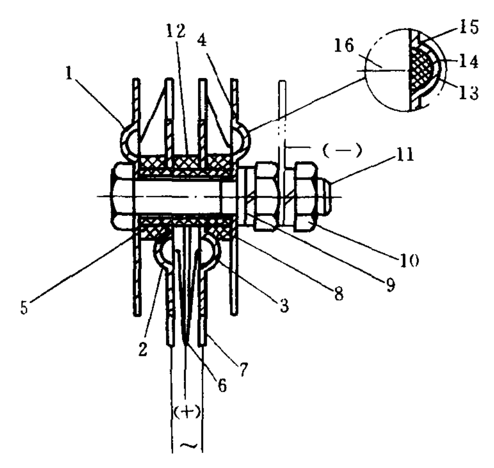


图 3－37　XF250 摩托车硅整流器结构剖视

1、2、3、4—硅元件；5—绝缘套管；6—整流器正极输出端；7—接发电机；8—绝缘垫圈；9—弹簧垫圈；10—螺母；11—螺栓；12—接线铜片；13—硅元件管心；14—绝缘胶；15—铜片；16—铜丝

个硅元件组成单相桥式全波整流器，铜片为散热元件，圆形凸

起部分为硅元件，铜片 15 是硅元件的管心 13 的正极，铜丝 16 是它的负极。硅元件用绝缘塑胶固定于铜片的凹面内。硅整流器有三个引出端，二旁引出端接发电机（不分极性），中间引出端接蓄电池"＋"，中心对穿固定螺栓接地（即负极接地）。

当永磁交流发电机输出电压高于蓄电池端电压（或蓄电池亏电）时，硅整流器将发电机输出的交流电整流为直流电，向蓄电池充电。而当发电机输出电压低于蓄电池端电压时，蓄电池则向用电器供电。

（六）可控硅脉冲交流调节器稳压电路

当前，在摩托车中凸极式和爪极式永磁交流发电机多采用蓄电池稳压电路，采用可控硅脉冲交流调节器稳压的还较少见。其与上述的飞轮式永磁交流发电机配合使用的可控硅脉冲交流调节器在原理上是类似的。

图 3－38 所示电路可供参考。驾驶员可根据白天与夜晚

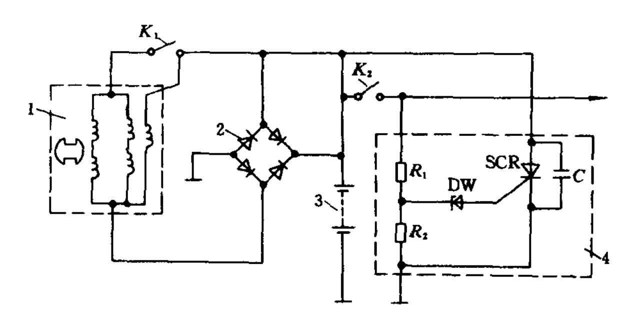


图 3－38　内转子式永磁交流发电机及其交流调节器稳压电路

1—永磁交流发电机；2—硅整流器；3—蓄电池；4—可控硅脉冲交流调节器

情况分别操作开关 K_1 和 K_2。在白天时，将开关 K_1 与 K_2 打开，交流发电机发出的交流电经整流器进行单相全波整流后

变为直流电向蓄电池充电。由于交流发电机只是部分电枢绕组供电，故蓄电池一般不会过充电，到夜晚时，将开关 K_1、K_2 接通，交流发电机电枢绕组全部参与供电。输出显著增加，同时经整流器整流后对外供电。当摩托车怠速，发电机电压低于蓄电池电压时，由蓄电池对外负载供电。若摩托车转速较高，发电机电压高于蓄电池时，发电机除对外负载供电外，其多余的电能还继续向蓄电池充电。

当开关 K_2 合上时，可控硅脉冲交流调节器自动进入工作状态。发电机经整流后的电压与蓄电池电压加在调节器的分压器上。当稳压管 DW 达到临界击穿电压时，即被导通，可控硅 SCR 也被触发导通。此时交流发电机电枢绕组几乎处于短路状态，发电机电压下降。当发电机电压低于稳压管 DW 临界击穿电压时，DW 截止，可控硅 SCR 也截止，发电机电压又上升，如此周而复始，使发电机输出电压稳定在规定值内。

（七）直流供电的照明系统

在飞轮式永磁交流发电机供电的照明系统电路中，采用的蓄电池容量较小，发电机交流电直接对照明系统供电。在凸极式和爪极式永磁交流发电机供电的照明系统电路由于发电机功率较前者大，多采用直流供电形式。该系统由发电机交流输出经整流器整流后与蓄电池并联，对各负载进行供电，如图 3－39 所示。这种电路在大排量和蓄电池容量较大的摩托车上应用较多。

（八）信号系统

图 3－40 所示为 XF250 系列摩托车的信号系统，采用直流供电。

当接通点火开关 3 时，蓄电池向信号系统各设备供电。当变速器在空挡位置时，空挡开关 7 闭合，空挡指示灯 6 亮。当

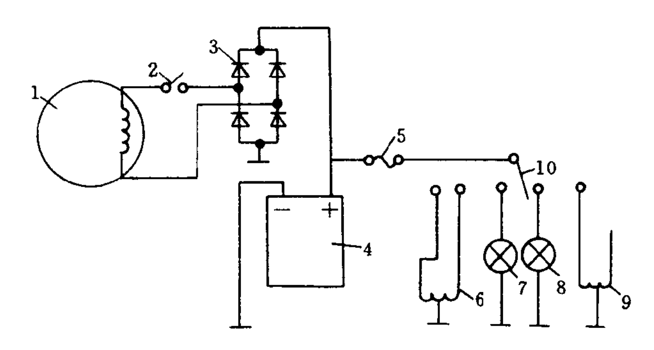


图 3－39 直流供电照明系统

1—永磁交流发电机；2—点火开关；3—硅整流器；4—蓄电池；5—保险丝；6—前灯；7、8—仪表灯（位置灯）；9—尾灯、制动灯；10—变光开关

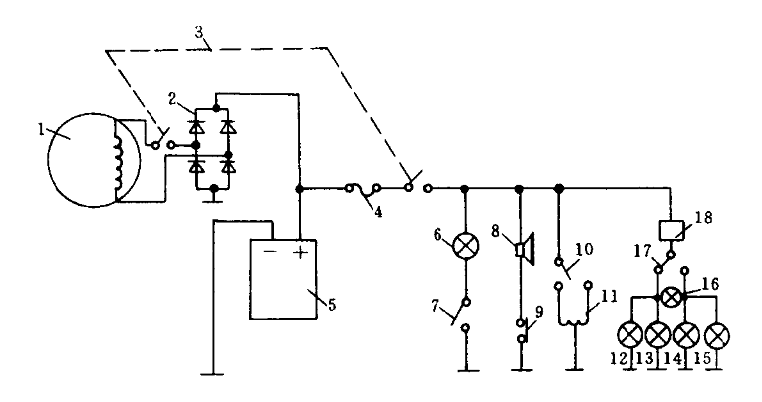


图 3－40 信号系统电路

1—永磁交流发电机；2—硅整流器；3—点火开关；4—保险丝；5—蓄电池；6—空挡指示灯；7—空挡开关；8—电喇叭；9—喇叭按钮；10—制动灯开关；11—制动灯；12—前左转向灯；13—后左转向灯；14—前右转向灯；15—后右转向灯；16—转向指示灯；17—转向开关；18—闪光器

转向开关 17 扳向左边时，前左转向灯 12，后左转向灯 13 同时闪亮；转向开关 17 扳向右边时，前右转向灯 14、后转向灯 15 同时闪亮。当踏下制动踏板时，制动开关 10 闭合，制动灯 11 亮。驾驶员若要警告和提醒周围行人、车辆，可以按下电喇叭按钮，电喇叭发出声响信号。

第六节　拖拉机永磁交流发电机

永磁交流发电机的主要优点是结构简单、工作可靠、不需维护或少维护。封闭型结构特别适用于尘土多、转速变化范围不大的拖拉机上。因此，永磁发电机今后在拖拉机上也将会有广阔的发展前途。但目前，在实际使用中的永磁交流发电机由于不设置电压调节器，在发动机怠速时灯光不太亮，发动机熄火时其照明灯也随之熄灭。故这种永磁交流发电机仅在转速变化范围小、不用电力启动、用电器只是照明的拖拉机和手扶拖拉机上获得较广泛的使用。按结构特征来分，拖拉机用永磁交流发电机可分为飞轮式永磁交流发电机、凸极式永磁交流发电机、爪极式永磁交流发电机等。

一、飞轮式永磁交流发电机

工农—10 手扶拖拉机配用 SFF30 飞轮式永磁交流发电机。在工农—12、东风—12 等手扶式拖拉机和长春—12、白城—12、延河—15 等轮式拖拉机上配用的是 SFF45 飞轮式永磁交流发电机。这里，发电机型号中的“S”是指手扶拖拉机的“手”字的第一个汉语拼音字母；前一个“F”是指飞轮式的“飞”字第一个汉语拼音字母；而后一个“F”是指发电机的“发”字第一个汉语拼音字母；发电机型号中“30”、“45”、“60”等是指发电机的额定输出功率，分别表示为 30 W、45 W、60 W。

SFF30 飞轮式永磁交流发电机是一种单相二路输出的交流发电机，其电压为 6～8 V，额定转速为 2 000 r/min，额定输出功率为 30 W，可同时向两个 6 V 15 W 照明灯供电。图 3-41 为 SFF30 飞轮式永磁交流发电机的电路原理图。发电机与照明灯采用一路一灯的接线方法，共二路，当开关 K_1 闭合时，灯泡 L_1 亮；开关 K_2 闭合时，灯泡 L_2 亮。在发电机三个接线柱上接三根导线，在发电机工作状态时依次用任意两根导线互相划火，若均有火花表示发电机正常，反之，则为有故障。

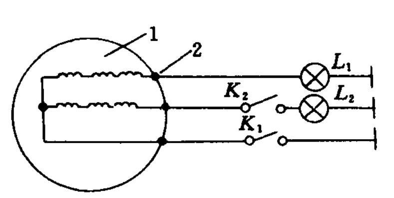


图 3-41 SFF30 永磁交流发电机照明电路原理图

1—发电机；2—接线柱；L_1、L_2—照明灯泡；K_1、K_2—开关

SFF30 飞轮式永磁交流发电机由转子和定子两大部分组成，均呈扁平状(以便整个发电机安装在柴油机机体与飞轮之间)。转子安装在飞轮上，能随飞轮同步旋转，故称为飞轮式发电机，如图 3-42 所示。

转子由六块永磁磁钢(钡铁氧体磁钢)和导磁环等组成。磁钢通过非导磁材料(如铜、不锈钢等)制成的沉头螺钉固定在导磁环(采用 10 号钢制成)上。六块磁钢在导磁环上 N—S—N—S 极性交替安装而成。转子通过三个沉头螺钉固定在飞轮上，随飞轮能自由转动。

定子由机壳、磁极、电枢线圈等组成。机壳、磁极均由导磁性能良好的 10 号钢制成，六个磁极上分别绕有一个电枢线圈，每个线圈由线径为 1 mm 高强度漆包线绕制而成，每个线圈为 100 匝。六个线圈分为二路，每三个线圈串联为一组，第一个线圈的始端为输出火线，串联的第三个线圈的末端为输

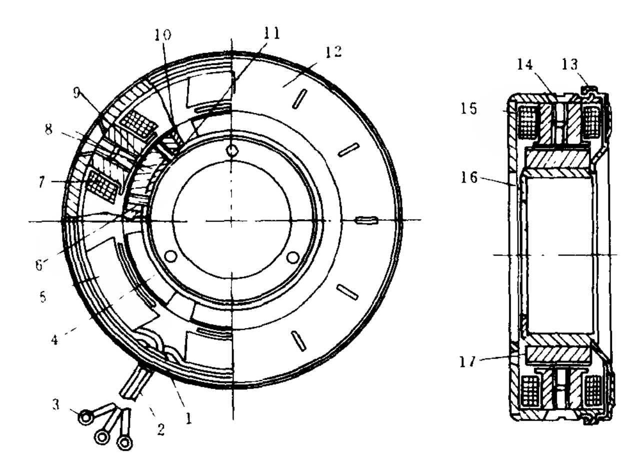


图 3-42 SFF30 飞轮式永磁交流发电机

1—出线橡皮圈；2—引出线；3—接头；4—转子；5—定子；6—磁铁固定螺钉；7—定子线圈；8—磁铁；9—导磁极靴；10—填料；11—导磁环；12—罩板；13—密封橡胶圈；14—极掌固定钉；15—极掌；16—转子固定螺钉孔；17—定子固定螺钉孔

出地线。两组线圈的两个输出火线端分别接至发电机的两个输出接线柱，两个输出地线端共同接到公共的接地接线柱上，从而组成两路输出电路。

当发动机旋转时，飞轮带动发电机的转子旋转，这时转子的六个永磁磁钢即成为旋转磁场，使电枢线圈内的磁通量不断交变，从而在电枢线圈两端感应出电动势，对外输出交流电。

定子和转子之间的气隙不能太大或太小，如气隙过大，发电机的输出电压过小；如气隙过小，发电机定、转子之间易擦铁而损坏。发电机的定子与转子之间的气隙一般在 0.57～0.63 mm 之间。

SFF45 飞轮式永磁交流发电机是一种单相三路的交流发电机，其电压为 6～8 V，额定转速为 2 000 r/min，额定功率为 45 W，可同时向三个 6 V 15 W 照明灯供电。

图 3-43 为 SFF45 飞轮式永磁交流发电机的结构、电路

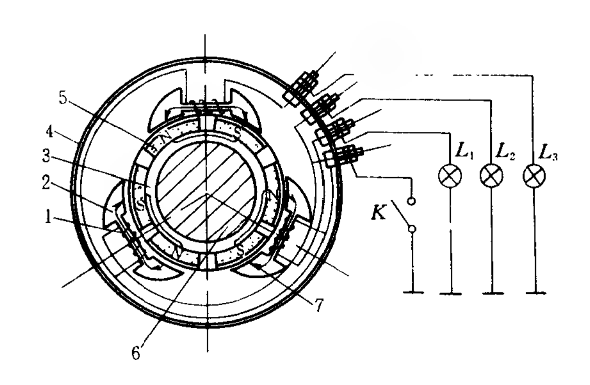


图 3-43 SFF45 飞轮式永磁交流发电机结构、电路和磁路原理图
1—电枢线圈；2—月牙形铁心；3—导磁环；4—罩壳；5—磁钢；6—曲轴；7—极靴

和磁路原理图。它由定子和转子等组成。定子电枢线圈缠绕在三个由硅钢片冲制后叠成的月牙状铁心上，每个线圈由线径为 ϕ 1 mm 的导线绕成，每个线圈为 185 匝。三个线圈的始端分别接至发电机的三个火线接线柱，三个线圈的末端联在一起接于公用的接地接线柱上，从而组成三路输出电路。转子上装有六块 N－S－N－S 极性交替的钡铁氧体磁钢，为了削弱冲击电流对磁钢的影响，磁钢表而还粘贴有极靴。

定子的三个月牙状铁心与转子相应的 N－S 极磁钢构成三个互相独立的磁回路。它们之间几乎没有联系，每个磁回路如下：从永磁磁钢 N 极出发→极靴→气隙→月牙状铁心→气隙→极靴→永磁磁钢 S 极→导磁环→永磁磁钢 N 极形成磁

回路。

当发动机旋转时带动转子旋转，其转子上的六块磁钢 N－S 极形成旋转磁场，在三个月牙状铁心中形成交变磁通，从而在电枢线圈感应出交变电动势。

图 3－44 为 SFF45 飞轮式永磁交流发电机的结构与安装剖视图。发电机呈扁状，定子固定不动，用三个螺栓将其固定在曲轴主轴承盖侧壁上，转子被固定在飞轮上，能随飞轮同

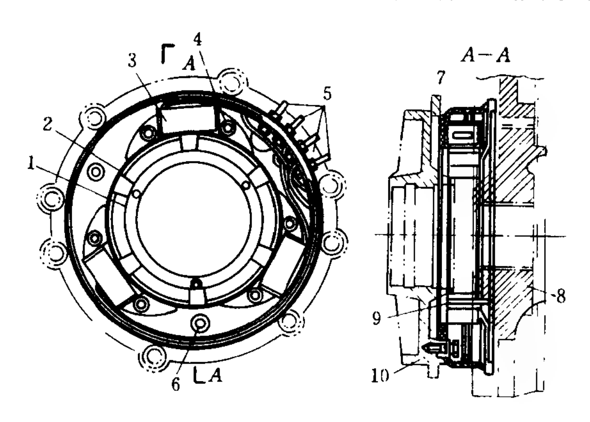


图 3－44　SFF45 飞轮式发电机结构与安装剖视图

1—永磁磁钢；2—导磁片；3—定子线圈；4—月牙状铁心；5—接线柱；6—螺钉；7—罩壳；8—飞轮；9—螺钉；10—曲轴主轴承座

步旋转。定子与转子之间的气隙为 0.5～0.75 mm。一般发电机不会发生定、转子相摩擦的现象。但应选择合适的气隙；气隙过小，定、转子易相擦；气隙过大，发电机端电压会下降。气隙可以通过改变月牙状铁心与转子之间间隙进行调整。

飞轮式永磁交流发电机在发动机上装配位置隐蔽，不需另外的传动设备，发电机本身无磨损零件。在柴油机主轴承达到磨损极限时，发电机仍能正常使用。该类发电机具有构造简

单、使用可靠、维护少、寿命长等优点，但发电机输出功率较小，它在小型拖拉机和手扶拖拉机上获得广泛的应用。

二、凸极式永磁交流发电机

图 3-45 为拖拉机用凸极式永磁交流发电机的构造图。

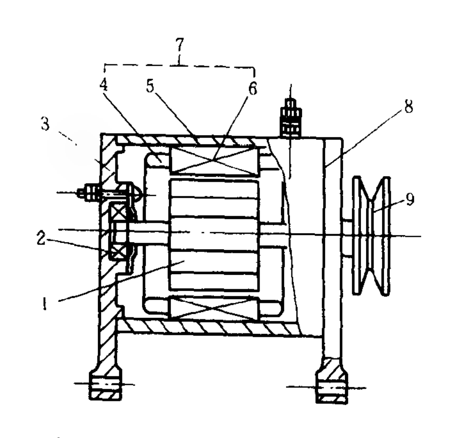


图 3-45　拖拉机用凸极式永磁交流发电机

1—凸极式永磁转子；2—轴承；3—后盖；4—电枢线圈；5—机壳；6—铁心；7—定子；8—前盖；9—皮带轮

凸极式永磁转子采用铁镍铝磁钢材料浇铸而成，凸极数有二极、四极和六极三种，一般为六极。极数不宜太多，极数越多、形状越复杂，磁性能越差。凸极式转子的相邻的两极按 N、S 极交替排列。其定子由机壳、定子铁心、电枢线圈等组成。定子铁心由电工薄钢板冲制而成的定子片叠压而成。机壳由 10 号钢无缝钢管制成或薄钢板卷成。如果定子片磁轭较高、前后盖制成碗状，使其能支撑定子铁心，机壳也可省去。

图 3-46 为拖拉机用凸极式永磁交流发电机电路与磁路。在图中可知，六个电枢线圈被安装在定子铁心的凸齿上，

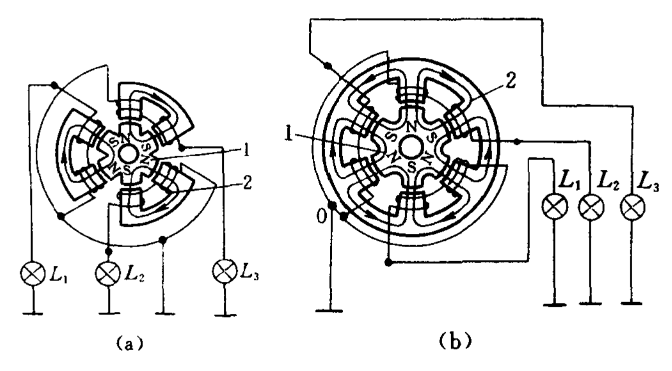


图 3-46 拖拉机用凸极式永磁交流发电机电路与磁路

1—凸极式永磁转子;2—定子

相邻的两个电枢线圈按电势叠加原理串联成一组,共有三组,可为三路照明灯供电。每个电路都是独立工作。图 3-46(a)所示,其电路与磁路均为独立的。这实质上相当于具有一个公用转子的三个发电机。它们排除了发电机中一个电路或磁路对另一个电路或磁路的互相影响,从而限制了其中一路负载变化对整个发电机电压的影响。但磁路分开后,将会降低发电机材料的利用率和工艺性。由图 3-46(b)所示,各电路是独立的,而磁路却是公有的。这样,磁路结构的工艺性提高,但当发电机其中任一电路断路时(有一个灯关闭时),那一路电枢绕组即无电流输出,其电枢反应消失,磁阻减小,而其它二路仍存在电枢反应、磁阻较大,这样使发电机三路磁势失去平衡。根据磁通按磁阻小的去处形成回路的特点,使空载绕组的磁路中的磁通量增多,带负载的电枢绕组的磁路中的磁通量反而减小,其电枢绕组的感应电势也相应下降。所以这种发电机三路负载应均衡为宜。

上述永磁交流发电机在转速变化时电压能大致稳定，其原理如下。图 3－47 为永磁交流发电机简化原理图。这里发电机的同步电抗已包含了漏抗和电枢反应。

在空载（$I=0$）情况下，发电机每组电枢绕组所感应的电动势与转速成正比，用公式表示为

$$E=C_e n$$

式中　$C_e=4k_\Phi k_0\dfrac{p}{60}\Phi$——常数

k_Φ——电机结构常数，取决于磁化曲线的形状；

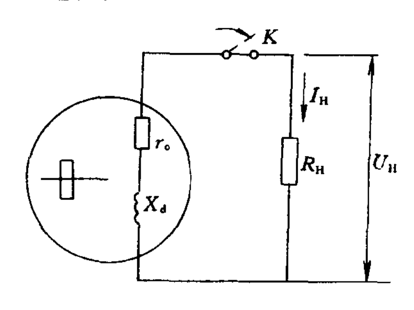


图 3－47　永磁交流发电机简化原理图

k_0——绕组系数（对集中绕组而言，$k_0=1$）；

p——磁极对数；

Φ——主磁通（Wb）；

n——转速（r/min）。

由于外负载是照明灯，可认为是纯电阻性，电阻值不随交流电流的改变而改变。当外电路接通时，在每组电枢绕组感应电动势的作用下流过的电流为

$$I=\frac{E}{Z}=\frac{E}{\sqrt{(R+r_0)^2+X_d^2}}$$

式中 Z——一组电路中的总阻抗（Ω）；

R——一路灯泡的电阻（Ω）；

r_0——一组绕组的内电阻（Ω）；

$X_d=2\pi f=\dfrac{2\pi pn}{60}L=C_x n$——每组电枢绕组的电抗（Ω）；

L——每组电枢绕组的电感(H)；

$C_x=2\pi\dfrac{pL}{60}$——常数。

这时外电路上的电压为

$$U=IR=\frac{E}{\sqrt{(R+r_0)^2+X_d^2}}R$$
$$=\frac{C_e n}{\sqrt{(R+r_0)^2+C_x^2 n^2}}R$$

现对此公式进行分析：

当发电机转速 n 很低时，$C_x^2 n^2$ 比 $(R+r_0)^2$ 小得多，可略去不计，而发电机外负载上的电流(指一路灯泡负载)

$$I_{n\to 0}\approx\frac{C_e n}{R+r_0}(\mathrm{A})$$

与发电机转子的转速成比例上升。故电压 $U=IR$，也将随转速成比例上升(见图 3－48 直线 1)所示。

当发电机转速 n 很高时，$C_x^2 n^2$ 远大于 $(R+r_0)$，因此 $(R+r_0)$ 可以忽略不计。这时

$$I_{n\to\infty}\approx\frac{C_e n}{C_x \mathrm{n}}=\frac{C_e}{C_x}=常数$$

即其电流将接近于常数（图 3－48，曲线 2）。可见，发电机负载电流 I，在转速较低时随转速的增加而成正比例的增加，然后增长速度减缓，至高转速时则趋于稳定值。

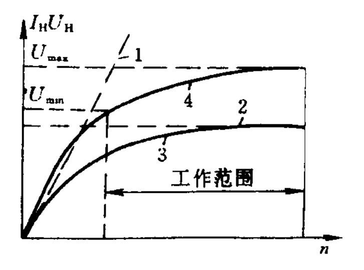
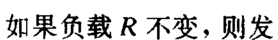


图 3－48　永磁交流发电机特性曲线



如果负载 R 不变，则发

电机的端电压U将随I的变化而变化。但实际上，如负载为灯泡，当电流通过灯丝时会发热，灯丝电阻便增大，故灯泡上电压增长比电流增长要大一些（图 3－48，曲线 4）。

应该指出的是交流发电机按上述原理稳压，比较简单，但稳压精度不高。这种发电机只有在外负载不会任意改变和转速变化范围较小的情况下，才能保持其电压稳定在允许范围内。

三、爪极式永磁交流发电机

在我国使用的拖拉机上还广泛应用一种爪极式永磁交流发电机。例如东方红—75、东方红—54 拖拉机上采用 G61、JF90 爪极式永磁交流发电机。一些手扶拖拉机上还使用 G32 爪极式永磁交流发电机。

图 3－49 为爪极式永磁交流发电机的结构，G61、JF90 永磁交流发电机的结构与它基本相同，它们皆由定子、爪极式永磁转子、前后端盖、皮带轮等组成，为封闭式，可防止尘土侵入其内部，旋转方向任意选择。爪极式永磁转子采用二个永磁激磁器并联形式，如图 3－50 所示。转子有六极磁极组成，相邻磁极的极性不同，即 N、S 极沿圆周上交叉排列。为了消除磁分流，轴采用黄铜制成。永磁激磁器爪极与爪极之间、爪极与磁钢之间的气隙填充的是热固性环氧树脂塑胶

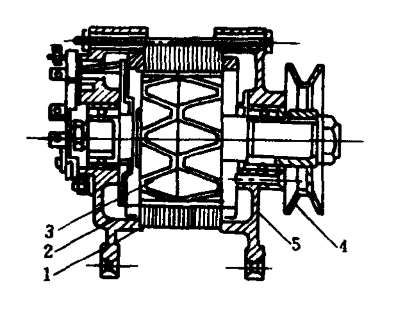


图 3－49 爪极式永磁交流发电机
1—定子；2—后盖；3—爪极转子；4—皮带轮；5—前端盖

（环氧树脂内加入适量的滑石粉与硬化剂）热固成型，所以完整取出磁钢较困难。填入环氧树脂塑胶的作用是加强转子结构强度以及在车削加工过程中避免铁屑吸入。环氧体磁钢的规格代号为 Y20—H66×20×20（用于 G61）或 Y25—H66×20×20（用 JF90），代号意义是 H——表示环形磁钢；66×20×20——表示磁钢外径×内径×厚度，单位（mm×mm×mm）；Y20、Y25——永磁铁氧体材质的牌号。对 Y20 铁氧体磁钢，其剩余磁感应强度 $B_r=0.28\sim0.36$ T；磁场强度 $H_c=1.27\times10^5\sim1.91\times10^5$ A/m；最大磁能积 $(BH)_{max}=1.4\times10^4\sim1.75\times10^4$ J/m^3；对 Y25 铁氧体磁钢，其剩余磁感应强度 $B_r=0.32\sim0.38$ T，磁场强度 $H_c=1.27\times10^5\sim1.91\times10^5$ A/m，最大磁能积 $(BH)_{max}=1.83\times10^4\sim2.15\times10^4$ J/m^3。

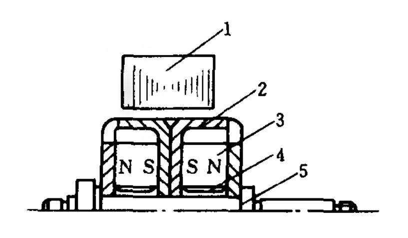


图 3-50　爪极式永磁转子

1—定子；2—爪极导磁片；3—永磁磁钢；4—支撑环；5—轴

定子由定子铁心和电枢线圈组成，定子铁心的 12 个凸齿上，嵌有 6 个电枢线圈，如图 3-51，每二个电枢线圈组成一组，共分三组，三组的末端连在一起，接到接线柱 N 上，经开关接地；三组的始端分别接到 A、B、C 接线柱上。

G 61、JF 90 爪极式永磁交流发电机的性能参数列于表 3-2。

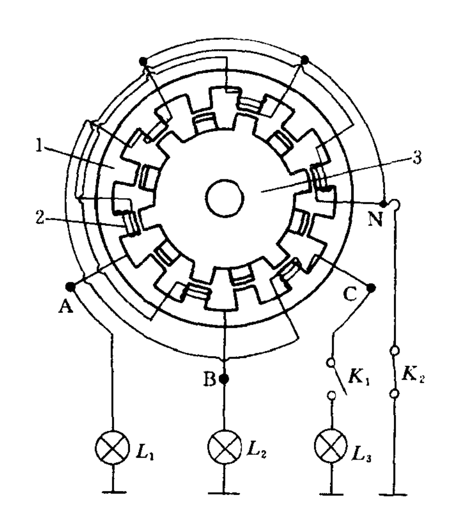


图 3-51　拖拉机用爪极式永磁交流发电机照明电路

1—定子铁心;2—电枢线圈;3—爪极式转子

表 3-2　G61、JF90 爪极式永磁交流发电机性能参数

型号	输出形式	额定功率/W	额定电压/V	每路固定负荷	每路接固定负荷时，不同转速下的端电压/V	适用机型
G61	单相三路	60	6	6 V 20 W 灯泡一只	1 300 r/min 时大于 4.2 2 100 r/min 时大于 5.5 2 300 r/min 时 5.5～7.9	东方红-75 东方红-54
JF90	单相三路	90	12	12 V 30 W 灯泡一只	1 300 r/min 时大于 9.5 2 100 r/min 时大于 12 2 800 r/min 时 12～16	东方红-75 东方红-54

G61 与 JF90 发电机定子内径尺寸相同，但它们转子外径却有所不同，故它们定转子之间的气隙不同；G61 定转子

之间的气隙为 0.535～0.95 mm；JF90 定转子之间的气隙为 0.235～0.345 mm。 此外， G61 发电机电枢绕组的线径为 1 mm，JF90 发电机电枢绕组的线径为 0.74 mm，后者导线截面积约为前者的一半，但匝数却多一倍。

图 3－52 为 G32 爪极式永磁交流发电机的构造，它由爪极式永磁转子、定子、前后端盖、摩擦胶轮、底架、扭力弹簧等组成，封闭式，可防止尘土侵入发电机内部，其旋转方向可任意选择。

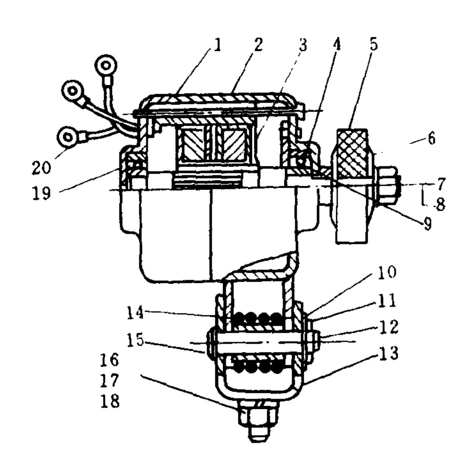


图 3－52　G32 型交流发电机的构造

1—后端盖；2—定子；3—爪极式永磁转子；4—前端盖；5—胶轮；6—胶轮压板；7、8—弹簧垫圈、螺母；9—挡圈；10—垫圈；11—开口销；12—轴销；13—底架；14—扭力弹簧；15—衬套；16、17、18—螺母、螺栓、弹簧垫圈；19—轴承；20—接线头

爪极式永磁转子采用 2 对磁极，环形铁氧体磁钢的规格代号为 Y30—H45×21×8，即环形磁钢的外径为 45 mm，内

径为 21 mm， 厚度为 8 mm， Y30 的磁性能为 $B_r=0.38\sim0.42T$，$H_c=1.59\times10^5\sim2.15\times10^5$ A/m，$(BH)_{max}=(2.78\pm1.6)$ kJ/m^3

定子由定子铁心和电枢线圈组成，定子铁心上有 4 个线圈，分二路对外输出。

G32 爪极式永磁交流发电机体积小、结构简单，其底架用二个螺钉固定在手扶拖拉机的操纵壳体上。工作时发电机的胶轮在扭力弹簧的作用下，紧贴在三角皮带的外表面，靠摩擦力带动发电机旋转。发电机用操作杆控制，当拉操作杆时，发电机的胶轮与三角皮带脱离，发电机即停止发电。在发电机上有三个接线柱，接线柱旁标有 N、M 或 O 字母的为接地线(引线一般为黑色)，其余二接线柱(二引线颜色相同)上各接一只灯泡。

表 3－3 列出的是 G32 爪极式永磁交流发电机的性能参数。

表 3－3　G32 爪极式永磁交流发电机性能参数

型号	输出形式	额定功率/W	额定电压/V	每路固定负荷	每路接固定负荷时，不同转速下的端电压
G32	单相二路	30	6	6 V 15 W 灯泡一只	5 000 r/min 时大于 6 V 7 000 r/min 时大于 8 V

使用时发电机胶轮的直径磨损到 50 mm 时必须更换，否则发电机转速过大，输出电压太高而损毁灯泡。

G32 交流发电机三种照明电路接线方法如图 3－53 所示。

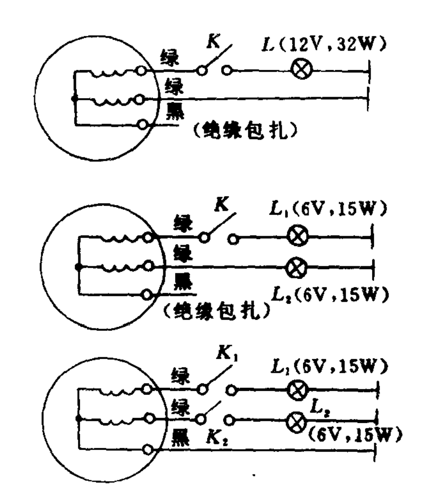


图 3-53　G32 交流发电机三种照明电路接线方法

第七节　汽车永磁交流发电机

汽车永磁交流发电机目前有两种类型：一种是具有以磁饱和线圈磁调节为主的电压调节器的永磁交流发电机；一种是具有采用可控硅控制整流的电压调节器的永磁交流发电机。前者由于结构上的缺点未见推广应用。后者随着廉价的高磁能永磁磁钢和便宜可靠的可控硅的发展，今后在汽车、拖拉机领域是有前途的。这里对带采用可控硅控制整流的电压调节器的永磁交流发电机简作介绍。

图 3-54 所示为 C. S. F. 杜加迪(DUCATI)E 型汽车永磁交流发电机的外观图。这类发电机标称电压有 6 V、12 V 和 24 V 三种。这类交流发电机结构紧凑、调节器安装在发电

机内部。图 3－55 为 E 型永磁交流发电机三相半控桥式整流电路。从图中可知，三个可控硅取代了三相桥式整流器的三个正二极管，三个可控硅要由一定的触发电压触发后才会导通，由内装式电子电压调节器进行控制，使发电机输出电压控制在规定值内。电子调节器与三相电枢绕组紧密相连，它包含一些饱和线圈(图中未表示，只画出其三个接线柱与发电机三个可控硅的控制极相连)。

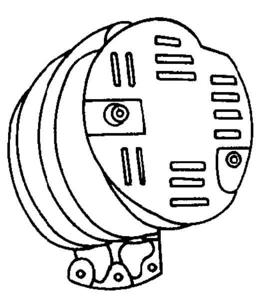


图 3－54　C.S.F. 杜加迪 E 型永磁交流发电机

图 3－56 为 150 W 杜加迪永磁交流发电机的外形尺寸

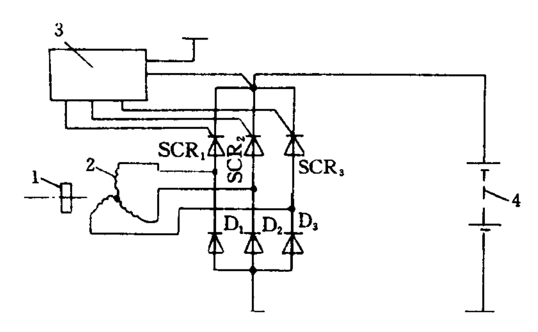


图 3－55　E 型永磁交流发电机三相半控桥式整流电路
1—永磁转子；2—三相电枢绕组；3—内装式电子电压调节器；4－蓄电池

图。这种交流发电机是一种用永磁激磁的单相无刷交流发电机，用于匹配负载为 12 V 电压制、负极接地的电器设备。其输出电流由可控硅控制整流的电子调节器进行调节电压。其电子调节器为内装式。定子由电工钢板叠成的铁心和电枢线圈

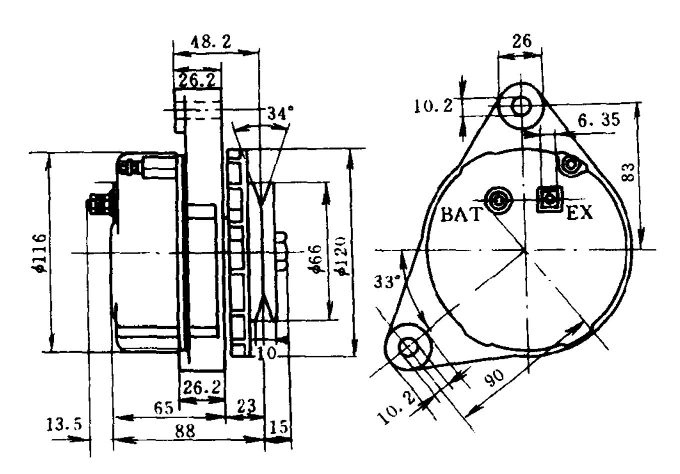


图 3-56 杜加迪 E150W128 型永磁交流发电机

组成。转子由铸铝压铸而成，转子上装有永磁磁钢，转子轴由球轴承支撑，其最大转速为 13 000～15 000 r/min。端盖由铸铝压铸而成，并经过化学氧化处理。皮带轮由钢板制成。300W 的永磁交流发电机的总重约 2.8 kg，150 W 的永磁交流发电机约为 1.8 kg。但 300 W 发电机的长度比 150 W 发电机大 18 mm。

近几年来，我国不少院校和工厂对汽车永磁交流发电机进行了研制。这种无刷永磁交流发电机与普通的汽车交流发电机基本相同。但转子采用永磁结构，图 3-57 所示为 8 极汽车永磁交流发电机的剖视图。该机定子外径和长度与普通的汽车有刷交流发电机相同。在相同转速、输出功率为 500 W 条件下，温升与 350 W 汽车有刷交流发电机相当。当该机过载运行，其永磁磁钢不产生永久性退磁（目前 NdFe 永磁体磁钢可以在实际使用温度 130～140 ℃范围内工作）。其转子采

用 8 极径向瓦片式永磁结构。

图 3 - 58 是 4 极永磁转子，其永磁磁钢也采用径向瓦片式结构，瓦片式永磁磁钢用强胶粘剂粘胶在导磁铁心上。磁极呈鸽尾型，用胶填充。它可保证在 10 000 r/min 时正常运行

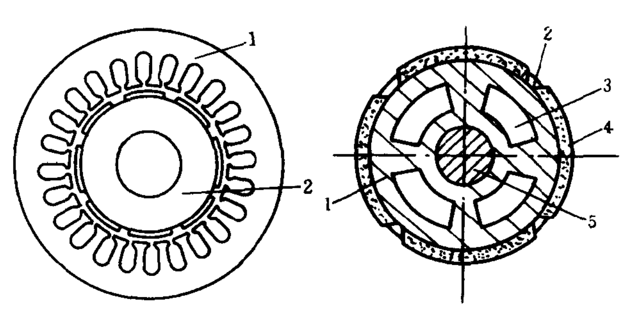


图 3 - 57　8 极汽车永磁交流发电机结构剖视图

1—定子；2—8 极径向瓦片式永磁转子

图 3 - 58　4 极径向瓦片式永磁转子

1—导磁铁心；2—粘胶；3—通风孔；4—瓦片状永磁磁钢；5—轴

而无损伤。其转子上开有通风孔，加强了冷却与散热，使用寿命大为提高。采用该转子结构的汽车永磁交流发电机，经长春汽车研究所测试，一个质量相当为 500 W 汽车有刷交流发电机的钕铁硼永磁交流发电机，其基本数据如下：

额定电压	28 V
空载转速	1 200 r/min
满载转速	2 750 r/min
额定功率	750 W(输出电流为 27 A)
质量	4.2 kg
比功	180 W/kg

该机最大输出功率达 1 000 W。

由于永磁交流发电机，其永磁激磁难以调节，而采用电压调节器控制的三相半可控桥式整流电路，其实质是一种斩波调制稳压电路。

用于控制三相半可控桥式整流电路的电压调节器有触点式和无触点式两种。图 3-59 为带触点式电压调节器的三相半可控桥式整流电路。

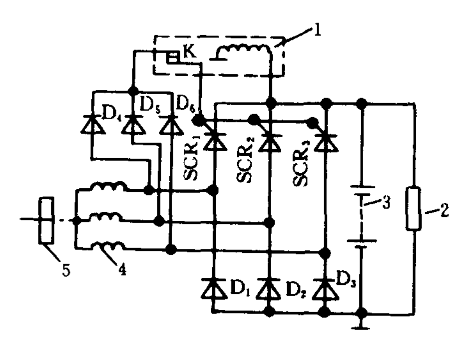


图 3-59　汽车永磁交流发电机触点式三相半控桥式整流电路

1—电压调节器；2—用电器；3—蓄电池；4—三相电枢绕组；5—永磁转子

其原理如下。三只共阳极硅二极管 D_1、D_2、D_3 与三只共阴极可控硅 SCR_1、SCR_2、SCR_3 一起组成三相半控桥式整流电路。而 D_1、D_2、D_3、D_4、D_5、D_6 硅二极管组成三相全波整流电路，为可控硅控制极提供触发电压。其与电压调节器的一个触点相连接，而另一个触点则与可控硅的控制极相连接。电压调节器内的线圈并联在三相半控桥的输出端。当永磁交流发电机转速较低时，电压调节器的触点 K 闭合，可控硅的控制极获得正向触发电压，可控硅 SCR_1、SCR_2、SCR_3 均导通。发电机电压随着转速上升而上升。当发电机转速达到一定值后，三相半控桥式整流电路向蓄电池和用电器提供三相全波整流电压。交流发电机转速继续升高，整流输出电压继续增高，如图 3-60 的粗实线所示。当发电机整流输出电压超过额定电压达到 U_2 值时，电压线圈中的电流增大，产生的吸力使触点 K 断开，可控硅控制极失去正向触发电压，可控硅不导通，这时交流发

电机整流输出电压开始下降，如图 3-60 虚线所示。当交流发电机整流输出电压降到 U_1（低于额定电压）时，电压调节器线圈中的电流减小，吸力下降，触点闭合，三个可控硅又获得正向触发电压，三个可控硅又导通，发电机端电压又上升。如此周而复始，使发电机整流电压平均值 U_d 控制在规定值内。

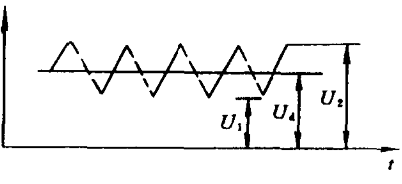


图 3-60　整流电压稳定范围

图 3-61 为无触点式三相半控桥式整流电路。当交流发电机转速较低时，控制信号为可控硅控制极提供触发电压，可控硅导通。三相半控桥式整流电路向蓄电池和其它用电器供

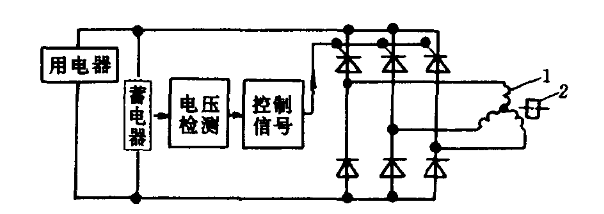


图 3-61　汽车永磁交流发电机无触点式三相半控桥式整流电路框图

1—三相电枢绕组；2—永磁转子

电。当交流发电机转速升高，整流输出电压超过发电机电压调节值时，控制装置从电压检测点获得信号，三个可控硅截止。这时交流发电机端电压下降。当发电机电压下降到电压调节值下限时，三个可控硅又导通，交流发电机电压又上升，如此周而复始，使过高的峰值电压被调节器削平而获得调节。这种无触点调节器的特点是：由于可控硅和整流二极管组成的半

控整流电路，它具有瞬间承受较大电流、运行可靠、耐用等特点，但这种电路应采取防止蓄电池极性接错和电路突然短路、断路等保护措施，以避免危及发电机和其它各种电器。

第四章 电磁激磁的无刷交流发电机

电磁激磁的无刷交流发电机，即其激磁场是由固定不动的磁场线圈流入激磁电流后产生的，转子与定子之间只有磁的联系，无电刷和滑环装置的交流发电机。这类发电机转子由驱动端盖和后端盖上两个轴承支撑，定子线圈、激磁线圈固定不动。这类交流发电机坚固耐用，没有无线电干扰，一般不需维护保养。

第一节 汽车用电磁激磁的无刷交流发电机

汽车用电磁激磁的无刷交流发电机有两种：一是悬臂爪极式无刷交流发电机；二是激磁线圈通过星形支架固定在定子上的无刷交流发电机。

一、悬臂爪极式无刷交流发电机

图 4－1 为我国福建省仙游电机总厂生产的 JFW14X 型悬臂爪极式无刷交流发电机外观图。该机外形美观、体积小、使用寿命长，额定电压 14 V、额定功率 500 W，空载转速≤1 000 r/min，满载转速≤2 500 r/min。图 4－2 为 JFW14X 型悬臂爪极式无刷交流发电机的解体图。该机由定子、转子、前后端盖、风扇、皮带轮等组成，没有电刷滑

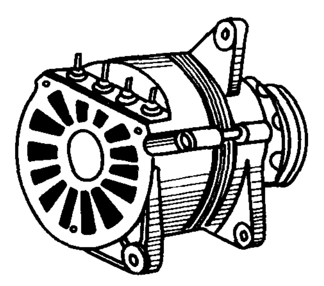


图 4－1 JFW14X 型悬臂爪极式无刷交流发电机外观图

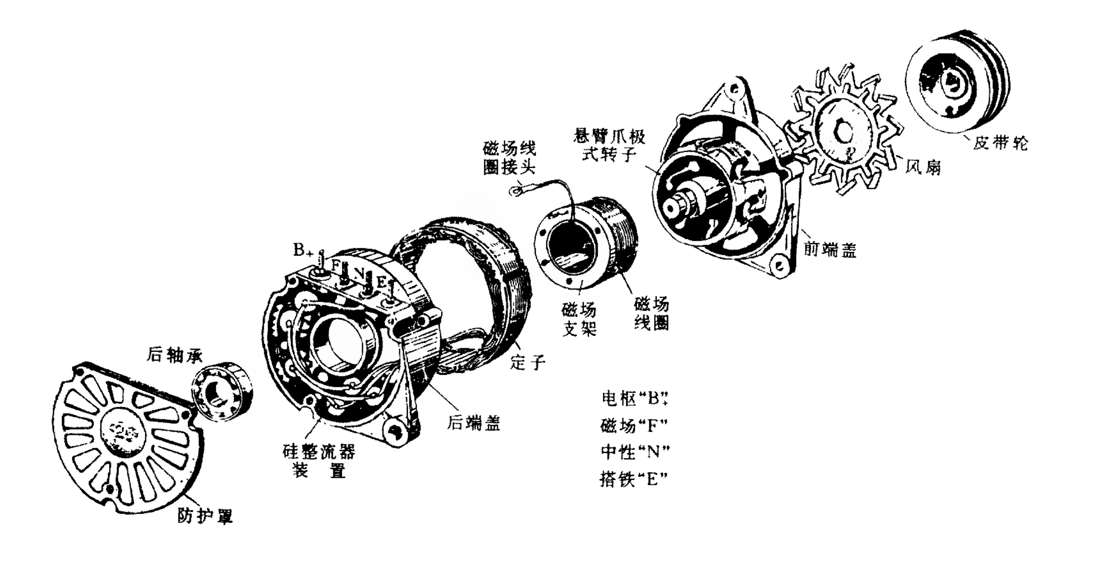


图 4－2　JFW14X 型悬臂爪极式无刷交流发电机解体图

环装置，定子由定子铁心和三相电枢绕组组成。转子为悬臂爪极式，转子极数 $2p=12$。磁场线圈绕在导磁的线圈支架上，该支架通过三个螺钉可安装在前端盖的内侧上。硅整流器安装在前端盖的外侧，“B_+”、“F”、“N”、“E”分别为发电机直流输出接线柱、磁场接线柱、中性点接线柱、接地接线柱。该机适用于跃进 NJ1041、NJ1061 系列汽车等，作为向蓄电池充电和其他用电器的供电电源。图 4－3 为 NJ1041、NJ1061 系列汽车电源电路图。

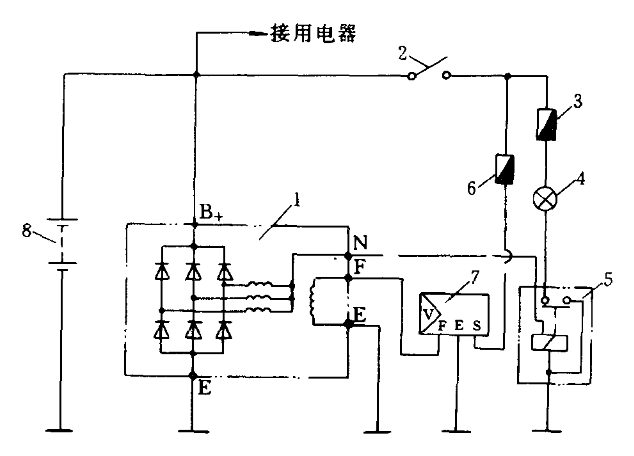


图 4－3　NJ1041、NJ1061 系列汽车电源电路图

1—JFW14X 型无刷交流发电机；2—点火开关；3、6—5A 保险丝；4—充电指示灯；5—充电指示继电器；7—晶体管电压调节器；8—蓄电池

图 4－4 所示为一种 14 V、72 A 悬臂爪极式内装电压调节器的无刷交流发电机结构剖视图。从图中可以知道，它由定子、转子、前后盖装配、风扇、皮带轮等组成，硅整流器和集成电路调节器被安装在后盖外侧，激磁线圈绕在可导磁的线圈

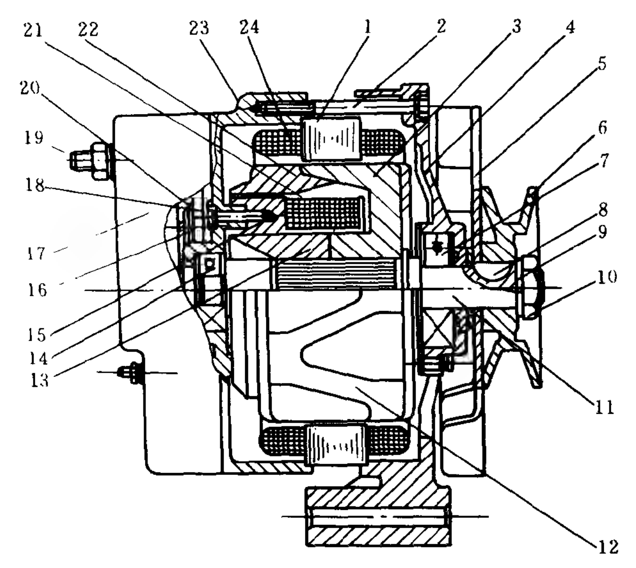


图 4-4　悬臂爪极式无刷交流发电机结构剖视图

1—定子铁心；2—对撬螺栓；3—前爪极；4—前端盖；5—风扇；6—皮带轮；7—前轴承；8—半月键；9—弹簧垫圈；10—螺母；11—轴；12—铜焊；13—导磁铁心；14—后轴承；15—线圈支架；16—硅元件；17—罩壳；18—螺栓；19—输出接线柱；20—电子调节器；21—激磁线圈；22—后爪极；23—后端盖；24—三相电枢绕组

支架上，然后该支架被三个螺钉固定在后盖的内侧。定子由三相电枢绕组和定子铁心所组成。悬臂爪极式转子由悬臂爪形磁极（由前后爪极焊接而成）、导磁铁心以及轴等组成，转子极数 $2p=12$，转子一端由后盖轴承座内的轴承支撑，另一端由前盖轴承座内的轴承支撑。转子轴的驱动端带有风扇和皮带轮，其通过半圆键用螺母和弹簧垫圈固定。

图 4-5 为悬臂爪极式无刷交流发电机的主磁路。主磁通从转子导磁铁心（或称磁轭）6→前爪极 4→主气隙→定子铁

心 1→主气隙→后爪极 8→附加气隙→线圈支架 7→附加气隙→导磁铁心 6 形成磁回路。这种爪极式无刷交流发电机与爪极式有刷交流发电机相比较，需增加两个附加气隙，故要消耗较多的激磁磁势。

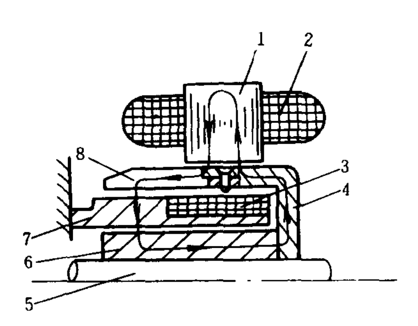


图 4－5 悬臂爪极式无刷交流发电机的磁路

1—定子铁心；2—电枢绕组；3—激磁线圈；4—前爪极；5—轴；6—磁轭；7—线圈支架；8—后爪极

图 4－6 为 14 V、72 A 整体式无刷交流发电机电路，与图 2－101 电路基本相同，但无电刷滑环装置。该电路系 11 管交流发电

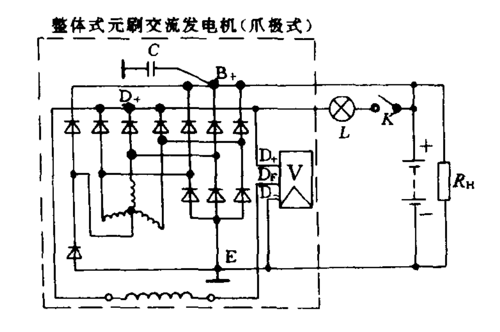


图 4－6 14 V 72 A 整体式无刷交流发电机电路

机电路，采用混合式集成电路调节器，在环境温度 23 ℃±5 ℃下其调节电压控制在 14 V ±0.1 V 范围内。在三相发电机的输出端和接地端之间由六个硅整流元件组成三相全波桥

式整流；在三相绕组中性点和发电机输出端及接地端之间接有二个硅整流元件，使发电机的三次谐波在中性点叠加；此外，还有三个激磁二极管。

在室温下该机在额定工作转速 6 000 r/min 下以 80%额定电流抛负荷到 10%额定电流，再返回到 80%额定电流，反复进行 10 次，电压调节器不应该损坏。该机耐久性试验可采用变速变负载循环试验，其试验时间为 1 000 h。

二、激磁线圈通过支架固定在定子上的爪极式无刷交流发电机

为了易于理解和比较，图 4－7 列出了爪极式交流发电机的三种结构。图 4－7(a)为爪极式有刷交流发电机结构的特征部分，其激磁线圈在转子上，激磁电流经电刷和滑环的活动

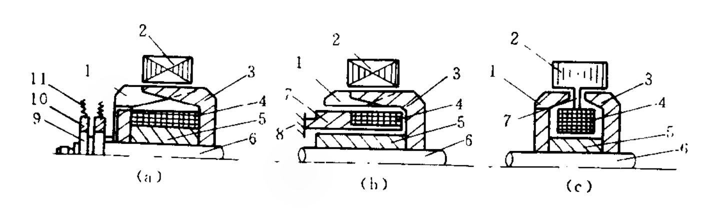


图 4－7　爪极转子的三种结构

1—后爪极；2—定子；3—前爪极；4—激磁绕组；5—磁轭；6—轴；7—支架；8—后端盖；9—滑环；10—电刷；11—刷簧

接触装置引入转子内的激磁绕组，从而产生激磁场。图 4－7(b)为悬臂爪极式无刷交流发电机的结构特征部分，其激磁绕组绕在被固定在端盖的支架上，激磁电流不需要通过电刷和滑环的滑动接触装置能直接引入激磁线圈，从而产生激磁场。图 4－7(c)为激磁线圈通过支架固定在定子上的爪极式无刷

交流发电机的结构特征部分，其激磁线圈被吊在两个不同极性的爪极之间，而两爪极是缩短的，以便转子旋转时不会碰到固定在支架上的激磁线圈，这样激磁电流同样不需要通过电刷滑环装置而能直接引入激磁线圈即能产生激磁场。

图 4－8 为国外一种激磁线圈通过支架固定在定子上的爪极式无刷交流发电机总成剖面图。它由定子、固定在星形支架上的激磁线圈、短爪极式转子、前后盖、风扇、皮带轮等组成，在后盖外侧安装有六个供电枢电流整流用的整流元件，有的还有三个激磁二极管。该无刷交流发电机的额定电压为 12 V，额定电流为 30 A，其定子外径为 120 mm，发电机质量为 3.6 kg。该机输出特性曲线如图 4－9 所示。这种结构的爪极式无刷交流发电机，与悬臂爪极式无刷交流发电机相比较，没有二个附加气隙，激磁损耗要减小得多；它与爪极式有刷交流发电机相比较，转子转动惯量要小得多，从而有利于提高转速。故在同样转速条件下较悬臂爪极式无刷交流发电机能输出较大功率；在增大转速条件下，它较爪极式有刷交流发电机可获得较大的输出功率。但它拆装和工艺性较前二种交流发电机逊色。

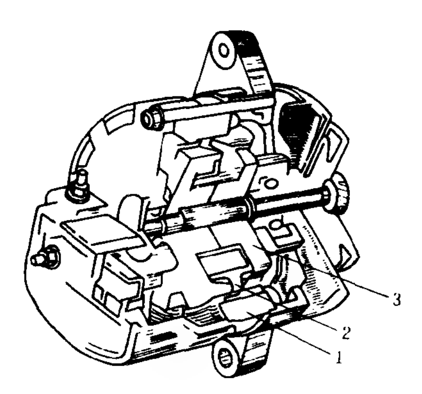


图 4－8　电磁激磁线圈通过星形支架固定在定子上的无刷交流发电机

1—定子；2—星形支架；3—爪极转子

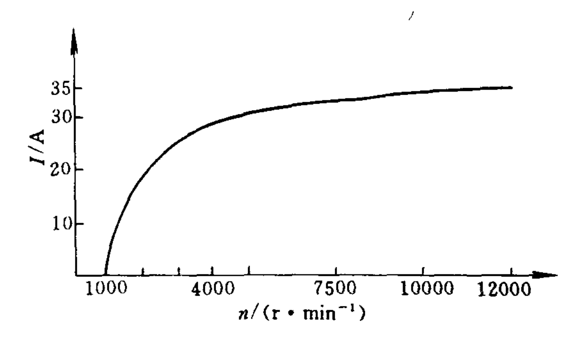


图 4－9　激磁线圈支架在定子上的爪极式无刷交流发电机输出特性曲线

第二节　拖拉机用电磁激磁的无刷交流发电机

拖拉机的工作条件和环境较恶劣，由于感应子式无刷交流发电机坚固耐用（尤其适合严寒地区），因此获得推广应用。

图 4－10 为电磁激磁的感应子式交流发电机的原理图。其定子铁心上绕有可通直流电的激磁线圈，定子上设有凸齿，其槽内嵌放着电枢绕组。转子是一个带凸齿的导磁铁心，称为感应子。当转子旋转时其齿的位置与定子各个齿的关系发生变化，通过定子各个齿的磁通由最大值（齿轴重合时）到最小值（定子齿轴同转子槽轴重合时）周期性变化，从而使电枢绕组感应出交变电动势。

图 4－11 所示为沿电枢圆周长度气隙中磁通变化曲线。忽略高次谐波成分，其曲线可以下表达式表示：

$$\Phi=\Phi_0+\Phi_1\cos\alpha$$

式中 $\Phi_0=0.5(\Phi_{max}+\Phi_{min})$——主磁通的不变成分值；

$\Phi_1=0.5(\Phi_{max}-\Phi_{min})$——基波的振幅值；

Φ_{max}——转子齿与定子齿重合时通过的磁通最大值；

Φ_{min}——转子齿与定子槽重合时通过的磁通最小值。

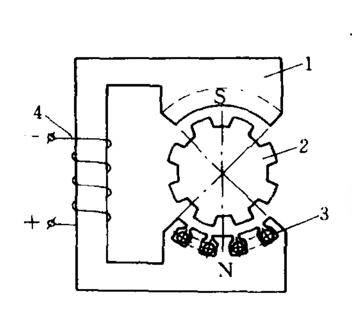
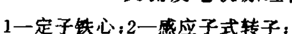


图 4-10　电磁激磁的感应子式交流发电机原理图


1—定子铁心；2—感应子式转子；3—电枢绕组；4—激磁线圈

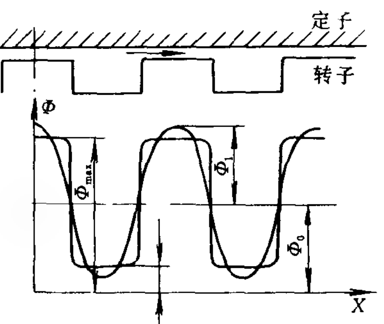


图 4-11　感应子式无刷发电机气隙中磁通分布

在感应子式发电机中，转子齿数等于极对数，即 $Z_2=p$。当转子以角速度 $\omega=2\pi f$ $(\alpha=\omega t)$旋转时，其定转子之间气隙中磁通的变化可按下式来表示。

$$\Phi=\Phi_0+\Phi_1\cos\omega t$$

定子齿中磁通的变化使齿上的电枢线圈产生感应电动势，用公式表示：

$$e_k=\omega_k\frac{d\Phi}{dt}$$

式中　ω_k——电枢线圈的匝数。

电枢绕组相电动势瞬间值为

$$e_1=E_m\sin\omega t$$

式中　E_m——相电动势的最大值。

相电动势的有效值按下式确定

$$E_1 = 2.22 f \omega_k Z_k (\Phi_{max} - \Phi_{min}) \quad (V)$$

式中　Z_k——每相串联的线圈数；

$f=\frac{Z_2 n}{60}$——频率(Hz)；

n——转子的转速(r/min)；

Z_2——转子的齿数。

因此，当转子旋转时，在定子内表面的任意一点，其主磁通大小变化而方向不变，并且与电枢绕组相交链的磁通发生变化。

图 4－12 所示为俄 Γ304、Γ305 型感应子式无刷交流发电

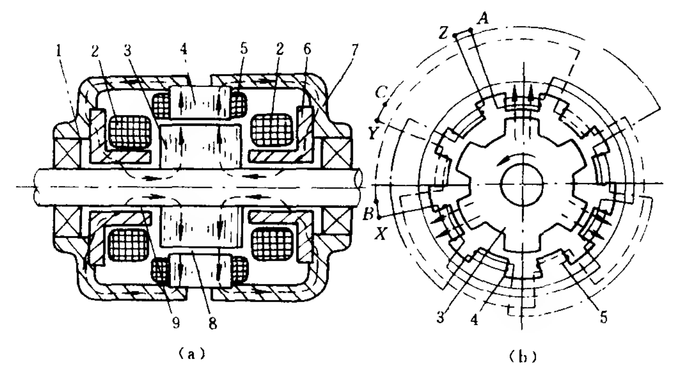


图 4－12　Γ304、Γ305 型感应子式无刷交流发电机

1—端盖；2—激磁绕组；3—感应子；4—定子铁心；5—电枢绕组；6—支架；7—端盖；8—主气隙；9—附加气隙

机。图 4－12(a)为它的基本结构，其由感应子、定子、前后盖、激磁线圈等组成。感应子由凸齿的导磁铁心和轴组成，其导磁铁心由六个凸齿的感应片叠压而成，感应片由电工薄钢板冲制而成。定子由定子铁心和电枢绕组组成，定子铁心由电工薄钢板冲制成带有九个凸齿的定子片叠压而成，九个电枢线圈

安装在定子铁心上。两个激磁线圈被套在能导磁的线圈支架上，两个支架又被分别安装在两个端盖内。端盖采用10号铸钢铸成，兼作外磁路用。当磁场线圈通入直流电时，激磁线圈产生的轴向磁场，主磁通从感应子凸齿出发→主气隙→定子铁心—[→后盖→后盖支架 / →前盖→前盖支架]→感应子凸齿形成磁回路。感应子旋转时，当凸齿逐渐进入定子齿面下时，通过齿极的磁通近似由零逐渐增加。当定、转子齿完全对正时，其通过的磁通量达最大值。感应子继续旋转，其凸齿逐渐退出该定子齿，齿极的磁通也逐渐减小。当感应子凸齿退出时，该定子齿通过的磁通量近似为零。如此周而复始，在定子电枢绕组中感应出交变电动势。图4-12(b)为在定子铁心嵌放的九个电枢线圈按三相要求布线与接线的示意图。

图4-13为俄Г306型感应子式无刷交流发电机，其图中所示为其结构示意图，该机与Г304、Г305型感应子式无刷交流发电机原理相同，但其为单个激磁线圈和单个线圈支架。

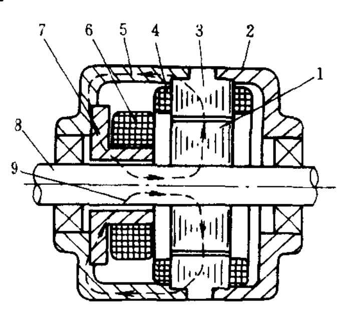


图4-13　Г306型感应子式无刷交流发电机

1—感应子；2—端盖；3—定子铁心；4—电枢绕组；5—端盖；6—激磁绕组；7—支架；8—轴；9—主磁通

上述感应子式无刷交流发电机采用硅整流器整流，该机电压调节器调节精确，发电机使用寿命可达6 000 h以上，几乎不需技术保养。但是这种交流发电机由于附加间隙存在，仅依靠电磁激磁，其自激较困难，自激临界转速较高。在怠速时激磁需依靠蓄电池供

电。

表 4－1 为部分感应子式无刷交流发电机技术参数。

表 4－1　部分感应子式无刷交流发电机技术参数

参数	发电机型号		
	Г304	Г305	Г306
额定电压/V	12	12	14
额定功率/W	250	400	400
最大功率/W	300	500	500
转速/($r \cdot min^{-1}$)			
额定	3 600	3 600	—
空载	1 400	1 550	—
满载	2 800	3 300	—
无皮带轮的质量/kg	6.6	7.3	—
保用期/h	5 000	5 000	5 000

第三节　摩托车用电磁激磁的无刷交流发电机

图 4－14 为本田四缸摩托车上使用的悬臂爪极式无刷交流发电机解体图。从图中可知，它由悬臂爪极式转子、定子、激磁线圈、机壳、离合器等组成，悬臂爪极式转子由悬臂爪极（由前后爪极焊成一体）、导磁铁心等组成。激磁线圈绕在能导磁的支架上，该支架通过三个螺钉固定在机壳上。定子由定子铁心和三相电枢绕组组成。发动机通过离合器带动发电机转子旋转，从而使流入激磁线圈的直流电产生的磁场通过悬臂爪极转子形成旋转磁场，切割定子的三相绕组而感应出三相电动势。

图 4－15 为本田四缸摩托车的电源电路图。接通点火开关，当无刷交流发电机输出电压在低速或重负载下，电流从蓄

电池→调节器闭合的上触点

—┌→激磁线圈┐→搭铁
 └→调节器线圈┘

形成回路。这时流过调节器的线圈电流产生的磁场不足以移动动触点，所以实际上蓄电池直接供给激磁线圈，发电机为他激状态，发电机电压随其转速的提高而提高。当发电机输出电压高于蓄电池电压时，激磁线圈由发电机直接供电，发电机激磁场进入自激状态。当发电机输出电压达到某一规定值时，电压调节器动触点被磁化铁心吸下，上触点打开，这时发电机的激磁场迅速减小，发电机输出电压即下降。在发电机较高转速下，上触点与动触点之间不断振动，使发电机电压控制在规定值内。在轻负载、高转速下，由于上触点控制的输出电压

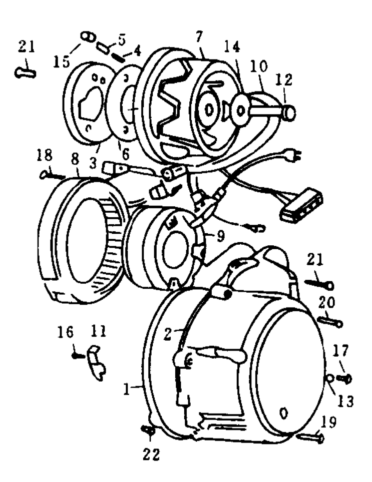


图 4-14 本田四缸摩托车上使用悬臂爪极式无刷交流发电机解体图

1—机壳衬垫；2—机壳；3—启动离合器；4—离合器滚柱弹簧；5—弹簧盖；6—压板；7—悬臂爪极式转子；8—定子；9—激磁线圈；10—线束；11—定位板；12—转子定位螺钉；13—垫圈；14—垫圈；15—滚柱；16—螺钉；17—螺钉；18—螺钉；19—螺钉；20—螺钉；21—螺钉；22—销钉

可能会过高，这时发电机的过高输出电压会使电压调节器的铁心产生更强的磁场而将动触点拉至下触点。此时激磁线圈被短路，发电机输出电压降至零。当发电机输出电压迅速下降时，电压调节器铁心吸力也减小，动触点在弹性作用下又与上触点闭合，激磁电流又增加，如此周而复始，使发电机电压稳

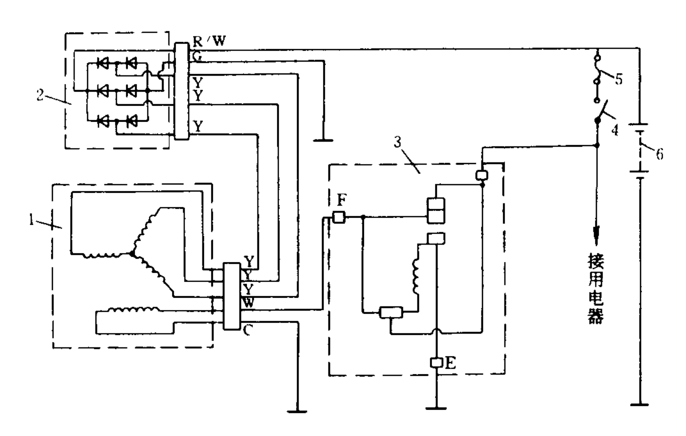


图 4-15　本田四缸摩托车的电源电路图

1—无刷交流发电机；2—硅整流器；3—电压调节器；4—点火开关；5—保险丝；6—蓄电池

定在规定值内。

第五章　永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机

永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机(简称组合激磁式无刷发电机),即其激磁场是永磁磁钢的磁场与激磁线圈流入激磁电流后产生的磁场共同产生的无刷交流发电机。永磁与电磁激磁的无刷交流发电机是介于永磁激磁的无刷交流发电机与电磁激磁的无刷交流发电机的一种发电机,兼有这两种发电机的优点,可以预料它在汽车拖拉机领域内是有发展前途的。

目前我国对这类发电机尚无研制先例,为此,作者对可能用于汽车、拖拉机的组合激磁式无刷交流发电机进行了试验和试用,尽管它还只是初步尝试,本书分别介绍如下,仅供读者参考。

第一节　汽车用永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机

一、基本结构和磁路分析

图 5－1 为作者设计的用于东风载货汽车上的 14 V 350W 的 JFW13 型永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机的结构和主磁路。它由定子、转子、前后盖装配、硅整流器、风扇、皮带轮等组成。它有二个磁源,一是永磁磁钢 22 产生的磁场,称为永磁激磁源;二是激磁线圈 4 产生的磁场,称为电磁

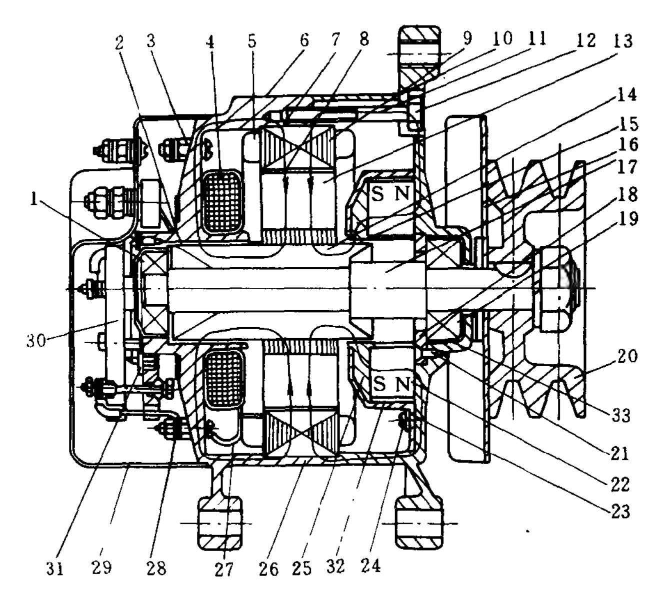


图 5-1　JFW13 型永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机的结构与主磁路图

1—后轴承；2—附加气隙；3—螺母；4—激磁线圈；5—电枢绕组；6—后盖；7—电磁激磁场；8—主气隙；9—定子铁心；10—前盖；11—永磁激磁场；12—螺栓；13—感应子；14—导磁铁心；15—附加气隙；16—风扇；17—轴；18—轴承盖；19—前轴承；20—皮带轮；21—螺钉；22—永磁磁钢；23—支架；24—螺钉；25—导磁盘；26—附加气隙；27—连接线；28—弹簧垫圈；29—罩壳；30—整流器总成；31—硅元件；32—热固塑料；33—非导磁衬圈

激磁源。它们分别被安装在后盖 6 和前盖 10 上。后盖 6 凸缘上安装有经玻璃丝带包扎成的激磁线圈 4。环形铁氧体磁钢 22 与导磁盘 25 通过非导磁材料（铝或不锈钢板）制成支架 23，用三个螺钉 24 固定在前盖 10 上。

转子由轴 17、导磁铁心 14 和感应片叠压而成的感应子 13 组合而成。感应片由 10 号钢薄钢板冲制而成，凸齿数 $Z_2=10$，感应片被叠压在导磁铁心 14 上。导磁铁心 14 由 10 号钢制成被压在轴 17 上。轴由非导磁材料(如不锈钢)制成。若前后盖轴承孔或轴端有隔磁措施，轴可用中碳钢制成。

定子是由定子铁心 9 与三相电枢绕组 5 组成，铁心 9 用 10 号薄钢板冲制的定子片叠压后采用焊接或铆接而成。定子片有 15 个梯形槽(即定子片凸齿为 $Z_1=15$)。三相绕组被嵌放在定子铁心 9 的槽内。

轴 17 的二端采用过渡配合或轻配合伸入前后盖轴承 19 和轴承 1 的孔内。定子被固定在前后盖的企口内，利用三个螺栓紧固。转子在定子孔内能自由转动。转子的驱动端带有风扇 16 和皮带轮 20。

后盖 6 的外侧安装有供三相桥式整流用的硅整流器 30。六个 ZQ15 硅元件被压在铝合金制成的散热板上。若硅整流器内有硅元件损坏，可单独拆下进行修复，而不需拆开发电机。

当转子由发动机带动旋转时，转子上的感应子凸齿与定子齿槽互相配合，使其气隙磁导不断交变，在电枢绕组中感应出电动势而发电。其发电机发出的交流电经硅整流器整流变成直流电，可供汽车上蓄电池和照明之用。

若激磁线圈内没有电流流过，此发电机内没有电磁激磁场，只有永磁磁钢 22 产生的永磁磁场。此永磁场的磁力线成两个回路，绝大部分磁力线从永磁磁钢 22 的 N 极出发，通过前盖 10 壳体、定子铁心 9、后盖 6 壳体、气隙 2、导磁铁心 14、气隙 15、导磁盘 25，到永磁磁钢 22 的 S 极形成磁回路；小部分磁力线从永磁磁钢 22 的 N 极出发，通过前盖 10 的壳体、

定子铁心 9、主气隙 8、感应子 13、导磁铁心 14、气隙 15、导磁盘 25，到永磁磁钢 22 的 S 极。由于主磁路上有这小部分永磁磁钢产生的磁力线通过，故为发电机自激建压创造良好条件。

当发电机启动后转速逐渐升高，端电压达到空载额定电压时，激磁线圈将流过激磁电流并产生足够的电磁场。电磁场磁力线从激磁线圈 4 的 N 极出发，通过导磁铁心 14、气隙 2、后盖 6 的壳体、定子铁心 9、主气隙 8、感应子 13、导磁铁心 14，回到激磁线圈 4 的 S 极形成磁回路；由于电磁磁场与永磁磁钢的磁场的同名极磁场的互相排斥作用，强大的电磁场迫使原经过旁磁路上的那部永磁磁力线一起经过主磁路，从而使永磁磁钢的磁力线只能从永磁磁钢的 N 极出发，经过前盖 10 的壳体、定子铁心 9、主气隙 8、感应子 13、导磁铁心 14、气隙 15、导磁盘 25 回到永磁磁钢 22 的 S 极形成回路（如图 5-1 所示）。故能保证发电机在低速和满载时主磁场具有最强大的激磁场。

二、电压调节原理

图 5-2 是 JFW13 型永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机的电压调节电路原理图。当发电机端电压达到规定值时，电压调节器的磁化线圈 L_3 与磁化铁心吸力增强，使触点打开。于是调节电阻 R_2 和加速电阻 R_1 串入了激磁电路，令激磁电路突然减小，发电机电压下降。当发电机电压下降至某一值时，磁化线圈与磁化铁心吸力不足，使触点闭合，激磁线圈流过的激磁电流增大，发电机电压又上升，如此周而复始，使发电机电压保持在一规定值内（13.5～14.5 V）。

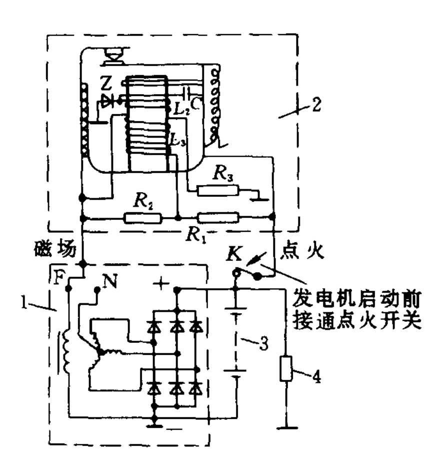


图 5－2　组合激磁式无刷发电机的电路

1—组合激磁发电机；2—电压调节器；3—蓄电池；4—用电器；K—点火开关

三、发电机的性能

用于东风载重汽车上的 JF1321(或 JF132N)有刷交流发电机，其技术性能指标，如表 5－1 所示。

表 5－1　JF1321(JF132N)技术性能参数

性能参数 项目 / 试验状态	空载		满载		
	电压/V	转速/(r·min⁻¹)	电压/V	电流/A	转速/(r·min⁻¹)
冷态时	14	≤1 100	14	25	≤2 200
热态时 (运转 15 min 后)	14	≤1 150	14	25	≤2 500

JFW13 型永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机，经过型式试验，各种性能指标均合格，其技术参数见表 5－2～5－5。

表 5-2　JFW13 冷态时空载和满载的性能

技术要求	空载		满载		
	电压/V	转速/(r·min^{-1})	电压/V	电流/A	转速/(r·min^{-1})
	14	≤1 000	14	25	≤2 500
#1	14	878	14	25	2 140
#2	14	903	14	25	2 030
#3	14	900	14	25	2 100

表 5-3　JFW13 发电机的高温试验数据

技术要求	空载		满载		
	电压/V	转速/(r·min^{-1})	电压/V	电流/A	转速/(r·min^{-1})
	14	≤1 100	14	25	≤3 500
#1	14	910	14	25	2 400
#2	14	940	14	25	2 200
#3	14	880	14	25	2 230
注:在 75 ℃±2 ℃高温箱内保持 3 h 后测得					

表 5-4　JFW13 发电机的低温试验数据

技术要求	空载		满载		
	电压/V	转速/(r·min^{-1})	电压/V	电流/A	转速/(r·min^{-1})
	14	≤1 100	14	25	≤3 500
#1	14	978	14	25	1 840
#2	14	880	14	25	1 830
#3	14	958	14	25	2 200
注:在温度—40 ℃±2 ℃条件下保持 3 h 后测得					

表 5-5　JFW13 发电机耐振动及耐冲击试验数据

项　目	振动频率/Hz	最大加速度/(9.8m·s^{-2})	振动时间冲击次数
振动	50	10	4 h
冲击	—	15	10 000 次

第二节　拖拉机用永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机

一、基本结构

图 5-3 为 JFW11 型拖拉机用永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机的结构剖视图。该机额定电压 14 V、额定功率 180 W,封闭式,能在恶劣环境下长期使用,适应多尘或水稻田场合工作。该机低速充电性能良好、结构坚固、使用寿命长、保用期内不需维护,能用于各种带蓄电池的拖拉机,供充电和照明之用,也能用于无蓄电池的手扶拖拉机上供照明之用。该机结构由定子、转子、前后盖、风扇、皮带轮等组成,硅整流器与发电机为分离式,它可单独安装在散热与散装方便的地方。该发电机有二个激磁源,永磁源采用钡铁氧体磁钢。作为电磁激磁源的激磁线圈采用 QZ—2 直径为 ϕ 0.59 mm 的高强度漆包线绕制而成,其圈数为 500 匝。定子由定子铁心和三相绕组组成,定子铁心外径仅 111 mm,叠压成定子铁心的定子片由厚 0.5 mm 的 D21 硅钢片冲制而成，其内孔为 76.5 mm,定子片有 12 个梯形槽(即定子片凸齿为 $Z_1=12$)。三相电枢绕组每相由 4 个连续绕制的线圈组成。每个线圈采用 QZ-2 ϕ 1.0 mm 高强度漆包线双线并绕，其圈数为 21 匝。三相绕组采用星形(Y 形)接法。转子由感应子和轴组成，感应子由

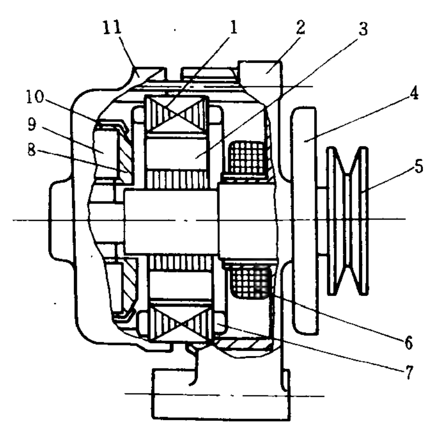


图 5－3　JFW11 型永磁与电磁组合激磁无刷交流发电机的结构剖视图
1—定子铁心；2—前端盖；3—感应子式转子；4—风扇；5—皮带轮；
6—激磁绕组；7—电枢绕组；8—导磁盘；9—永磁磁钢；10—支架；
11—后端盖

厚 0.5 mm 的硅钢片冲制而成的感应片叠压而成，感应片带有 8 个凸齿(即 $Z_2=8$)，转子外径为 76 mm。硅元件为 QZ15，共 6 个。

电压调节器采用 FT111 或 FT70 型，与上海 50 型拖拉机上采用的 JF1211 型有刷交流发电机相同。

二、发电机的性能

该机经型式试验，技术性能均符合设计要求。现将发电机试验后性能介绍如下。

冷态性能检查：将 1# ～6# 样机分别固定在万能试验台上，均匀升高发电机转速至空载电压 14 V 和满载电压 14 V、电流 13 A 时，读取发电机的测定转速。数据列于表 5－6。

表 5-6 冷态性能

项目 \ 参数 \ 编号		1#	2#	3#	4#	5#	6#	技术要求
空载	电压 14 V 时转速/$(r\cdot min^{-1})$	900	900	890	900	900	900	≤1 000
满载	电压 14 V 电流 13 A 时转速 /$(r\cdot min^{-1})$	2 010	2 160	1 900	2 080	2 100	1 950	≤2 500

将样机分成两组 1#、2#、3# 为第一组进行温升试验、热态性能试验、互换性试验、绝缘介电强度试验。

温升试验：将样机（1#、2#、3#）分别紧固在发电机专用试验台上，磁场串接可变电阻以作调节发电机电压之用，转速为 3 500 r/min±100 r/min，在额定负载下运转 1 h 以上，至温度稳定，用点温计测量定子铁心表面温度，用电阻法计算定子绕组和磁场绕组温升。其温升试验数据，列于表 5-7 所示。

表 5-7 温升试验数据

编号 \ 测定数据 \ 项目	试验结果周围介质温度/℃	定子表面温度/℃	磁场绕组温升/℃	定子绕组温升/℃
1#	27	56	40	59
2#	26	56.5	40	71
3#	28	69	40	79

热态性能试验：在温升试验后立即进行，其测定数据列入表 5-8。

表 5-8 热态性能

测定数据 / 编号 / 项目		1#	2#	3#	技术要求
空载	电压 14 V 时转速/(r·min^{-1})	1 050	1 000	1 000	≤1 200
满载	电压 14 V 电流 13 A 时转速/(r·min^{-1})	2 600	2 750	2 600	≤3 500
70% 负载	电压 14 V 电流 9 A 时转速/(r·min^{-1})	2 250	2 300	2 280	≤2 500

互换性试验：将 1#、2#、3# 样机拆卸混合其零部件，然后组装，总成性能检查列于表 5-9 所示。

表 5-9 互换性试验数据

测定数据 / 编号 / 项目		1#	2#	3#	技术要求
空载	电压 14 V 时转速/(r·min^{-1})	880	890	870	≤1 000
满载	电压 14 V 电流 13 A 时转速/(r·min^{-1})	2 000	2 050	2 050	≤2 500

绝缘介电强度试验：将 3 台样机的磁场线圈和三相绕组的引出线头对外壳施工频 50 Hz，交流电压 660 V，历时 1 s，应无击穿现象。

将 4#、5#、6# 样机为第二组进行振动试验、冲击试验、超速试验、短时高速试验、低温试验、高温试验、耐潮试验。

振动试验：将样机 4#、5#、6#模拟实际装车情况，紧固在机械式振动试验台上，调整振动为 50 Hz，加速度为 10 g，发电机不运转状态下振动 4 h，试验后检查零件无松脱损坏现象。其性能检查列于表 5－10。

表 5－10　振动试验数据

测定数据 编号 / 项目		振动			冲击			技术要求
		4#	5#	6#	4#	5#	6#	
空载	电压 14 V 时转速/(r · min^{-1})	900	890	860	920	900	900	≤1 000
满载	电压 14 V 电流 13 A 时转速/(r · min^{-1})	2 000	2 050	2 000	2 200	2 200	2080	≤2 500

冲击试验：将样机 4#、5#、6#模拟实际装车情况，紧固在冲击试验台上，调节冲击加速度为 15 g，冲击频率为 80～100 次/min，冲击 10 000 次，试验后检查零件无松脱损坏现象，其性能检查列于表 5－10。

超速试验：将样机 4#、5#、6#分别紧固在发电机专用试验台上，均匀升高发电机转速至最高转速的 1.2 倍，即 4 800 r/min，电机不励磁状态下，运转 30 min，检查零部件无损坏松脱现象，其性能检查列于表 5－11。

表 5－11　超速试验数据

测定数据 编号 / 项目		4#	5#	6#	技术要求
空载	电压 14 V 时转速/(r · min^{-1})	950	900	910	≤1 000

续表

测定数据 编号 项目		4#	5#	6#	技术要求
满载	电压 14 V 电流 13 A 时转速/($r \cdot min^{-1}$)	2 400	2 150	2 160	≤2 500

短时高速试验：将样机 4#、5#、6#分别紧固在发电机专用试验台上，发电机在轻载(4～5 A)下，带电压调节器，转速为 4 000 r/min，历时 30 min，试验中工作正常，试验后检查零件无损伤，符合技术要求。

低温试验：将样机 4#、5#、6#放入温度为－40 ℃±2 ℃的低温箱内，在不工作状态下，保持 3 h，产品自低温箱取出在 5 min 内完成性能检查，其性能检查列入表 5－12 所示。

表 5－12 低温性能

测定数据 编号 项目		4#	5#	6#	技术要求
空载	电压 14 V 时转速/($r \cdot min^{-1}$)	860	850	850	≤1 000
满载	电压 14 V 电流 13 A 时转速/($r \cdot min^{-1}$)	1 750	1 750	1 700	≤2 500

高温试验：将 4#、5#、6#样机分别装在 75 ℃±2℃恒温箱中，发电机转速为 3 500 r/min±100 r/min，电压由电调节器控制(13.8～14.8 V)电流 13 A 运转 3 h，3 台发电机均能在恒温箱中正常工作(为主要考核高温对永磁磁钢是否影响，硅整流器放在高温箱外面)。

耐潮试验：将4#、5#、6#样机放入温度为40 ℃±2 ℃、相对湿度为90%～95%的恒温恒湿箱内，不工作状态下历时48 h，产品自箱内取出，在15 min内完成性能检查，其性能测定数据列于表5－13所示。

表5－13 耐潮试验数据

项目 \ 测定数据 \ 编号		4#	5#	6#	技术要求
空载	电压14 V时转速/(r·min^{-1})	890	900	890	≤1 000
满载	电压14 V电流13 A时转速/(r·min^{-1})	2 000	2 100	2 200	≤2 500

该机还进行过3 000 h保用期试验，在试验全过程中未作维护保养，试验后工作正常，其冷态性能测定如表5－14所示。整机拆开检查其内部零部件，无不正常情况。

表5－14 使用3 000 h后冷态性能

编号 \ 测定数据 \ 技术要求	空载		满载		
	电压/V	转速/(r·min^{-1})	电压/V	电流/A	转速/(r·min^{-1})
	14	≤1 000	14	13	≤2 500
1#	14	860	14	13	2 020
2#	14	865	14	13	1 950
3#	14	890	14	13	2 050
注：保用期试验三台样机为单独进行与型式试验样机无关					

图5－4为该机$I=f(n)$输出特性曲线。该机特性曲线的特点是在拖拉机发动机小油门能开始充电，中高速油门仍能保持所需充电电流，从而使蓄电池能处于充足状态和显著提

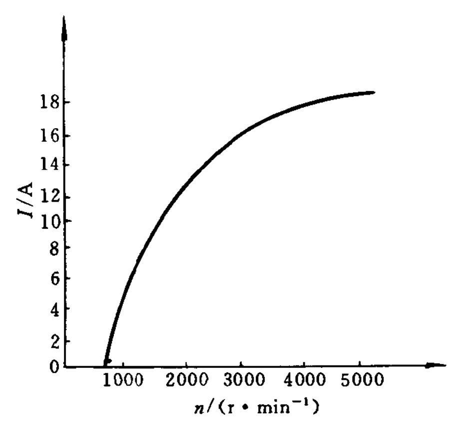


图 5-4　JFW11 型永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机输出特性曲线

高蓄电池寿命。

第六章 交流发电机的使用和检修

汽车、拖拉机、摩托车用交流发电机的结构、种类很多，本章根据交流发电机的使用和检修方法异同来分，尽可能归类进行叙述。读者阅读本章时，各种交流发电机和电压调节器的结构原理参见上述各章有关内容。

第一节 带硅整流器的交流发电机的使用和检修

带硅整流器的交流发电机又称硅整流交流发电机。下面将其分为电磁激磁的交流发电机和永磁激磁的交流发电机的使用和检修二部分来叙述。

一、电磁激磁的交流发电机的使用和检修

(一)使用注意事项

当前汽车、拖拉机、摩托车上广泛使用的电磁激磁的交流发电机又有硅整流有刷交流发电机和硅整流无刷交流发电机之分。但使用时注意事项大致相同。与直流发电机相比，它们结构简单、体积小、比功率大、维护方便。但使用方法与直流发电机不同，如使用正确，其故障少、使用寿命长；如使用不当，却很易损坏。对这类交流发电机，使用时应注意如下几点：

(1) 必须与相应的调节器配合使用，一般为负接地，使用时与蓄电池接地极性必须相同。否则，蓄电池将使硅元件形成短路，会使硅元件立即烧坏。同时，还应注意其它各接线不要

接错或短路。

(2) 交流发电机接线柱引线安装必须牢固可靠，以防止突然松脱产生瞬间过电压，烧坏发电机的硅元件及其它用电设备。

(3) 由于这类交流发电机都装有硅整流器，发电机运转时绝对不可用试火花的方法去检查发电机是否发电，否则极易损坏硅元件。

(4) 发现发电机不发电或充电很小时，应及时找出故障，加以排除，不应再长期继续运转。因为发电机不发电或充电电流很小，可能是由于硅元件损坏而引起。如果有一个硅元件短路情况下，再继续运转，会引起电枢绕组一相或二相被烧坏，如图 6－1 所示。如 D_3 硅元件被击穿而短路，则 A 相绕组感应产生的电流经 D_1 后通过 D_3 回到 B 相绕组，而不经过负载 R。这样，运转时间长后，电枢绕组就容易损坏。

(5) 发动机熄火后，应及时关闭点火开关，以防止蓄电池对发电机的磁场线圈长时间的放电，而使磁场线圈或调节器损坏。

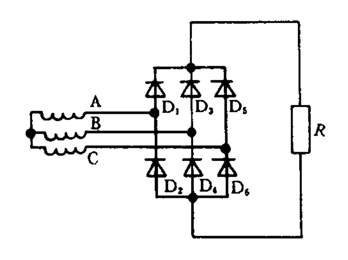


图 6－1 交流发电机硅元件损坏后的电流流通情况

(6) 经常检查三角皮带的张力。使用时发电机必须牢固地固定在发动机的安装架上。三角皮带的张力不能过松或过紧。皮带过松，易使皮带轮打滑，造成发电不足；过紧，会使发电机轴承和三角皮带使用寿命缩短，甚至发电机前盖挂脚拆断。一般三角皮带张力调整可用手在皮带中心处按下 10～15 mm 的距离，则松紧较为适宜，如图 2－15 所示。

(7) 检查发电机各部分绝缘性能时，如果用220 V交流电源或兆欧表(欲称摇表)，则必须将发电机拆开，将硅元件(对整体式交流发电机，还应包括内装的电子式电压调节器)与各部分连接处分开，绝对不可用220 V交流电源或用兆欧表(摇表)检查发电机的绝缘情况，以免电子元件击穿而损坏。

(二) 在车上判断发电机或调节器故障

1. 对于电压调节器为外接式的交流发电机电路

若发现充电不正常时，要及时检查故障所在，并排除之。在车上检查交流发电机是否发电，可用以下方法：用直流电压表或用万用电表的电压测量挡，把电表的"－"试棒接触发电机的外壳，"＋"试棒接触发电机的"电枢"上，当发电机未运转时，电压表指示的是蓄电池的端电压；当发动机中速运转时，电压表应指示14 V(12 V电系)或28 V(24 V电系)左右，则说明发电机和电压调节器的工作是正常的。如果发电机在中速时，电压表仍指示蓄电池的端电压，说明充电系统有故障。

如何进一步判断此故障是发电机，还是电压调节器呢?这时可把联接发电机"电枢"接线柱(即"＋"或"B_+"等符号表示的发电机输出端接线柱)的导线拆掉，使发电机与蓄电池脱开，在发电机"电枢"接线柱与地之间接上电压表；再把电压调节器的"火线"和"磁场"接线柱，暂时用导线联接(或将发电机"电枢"接线柱与发电机"磁场"接线柱暂时用导线联接也可)，然后将发电机的转速从低速逐渐升高，若发电机的端电压随转速的升高而逐渐增大，说明发电机是好的，故障在电压调节器。否则，说明发电机有故障。

2. 对于电压调节器为内装式的交流发电机电路

对于配用电压调节器为内装式的交流发电机，即整体式交流发电机的一般车辆，在仪表板上装有充电指示灯，借此可

判断发电机是否良好。现结合图 6-2 来加以说明。

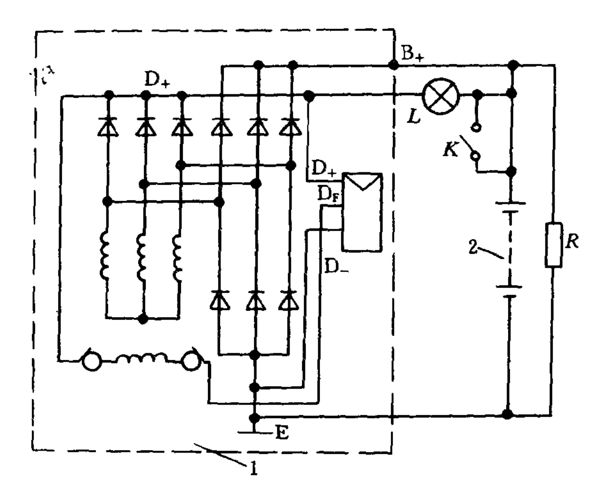


图 6-2　整体式交流发电机充电电路

1—整体式交流发电机；2—蓄电池

当点火开关 K 接通，由于充电指示灯 L 两端的电位差，灯亮表示交流发电机已由蓄电池激磁，然后启动发动机，逐渐提高转速，充电指示灯两端电位差减小，灯由亮渐暗而熄灭，表示交流发电机已进入正常工作状态。

当整体式交流发电机有故障时，为避免不必要的拆卸，可以视以下情况进行判断：

1）接通点火开关后，充电指示灯不亮

先检查接线是否断路、短路、连接处脱离等，然后可将调节器 D_F 端和 D_- 或 E 端短接，若灯亮，说明故障在调节器；若充电指示灯仍不亮，可将调节器 D_F 端和 D_+ 端短接，若灯亮，说明交流发电机有故障；若充电指示灯仍不亮，则是连接导线与“D_+”、“D_F”接线柱接触不良、或充电电路连接不良，或充电

指示灯损坏。

2）接通点火开关后充电指示灯亮，但当发动机转速升高后，充电指示灯仍亮

在排除此故障前，必须先检查发电机传动皮带的张力，发电机是否固定牢，以及发电机各接线是否有短路等。然后拆下整体式交流发电机，检查发电机或调节器是否故障。

3）充电指示灯亮度暗淡或时亮时暗

先检查发电机传动皮带张力是否合适、发电机安装是否固定可靠、接线是否有接触不良现象、或轻微短路、或连接处松动、保险丝是否有烧断或接触不良，经检查后上述情况无异常，则可进一步检查发电机，如发电机输出或调节器故障，可将其拆下检查。

（三）充电系常见故障和排除方法

表 6-1　完全不充电故障产生原因和排除方法

故障部位	故障原因	排除方法
接线	连接处脱落、断线、短路或错接	修补或重接
发电机	保险丝烧断	更换
	磁场线圈或电枢线圈断路、搭铁、短路	更换或修理
	电极绝缘脱落	修理
	硅元件击穿	更换
	皮带过松	调整皮带张力
调节器	引线或电路短路、断路	修补或更换
	调节电压比规定电压过低	调整或更换

表 6-2　充电不足、蓄电池经常亏电故障产生原因和排除方法

故障部位	故　障　原　因	排除方法
接　线	断线、轻微短路或或连接处脱落	修补、重新固定
发电机	保险丝烧断或接触不良	修　理
	点火开关和调节器 I_G 端子之间断线或接触不良	修　理
	磁场线圈层间短路	更换或修理
	有刷交流发电机滑环污损或电刷固定不良	修　理
	硅元件不良	更　换
	电压调节器电压调节比规定低	调整或更换调节器
调节器	电压调节器电压调节比规定低	调整或更换
	触点式调节器触点污损	更换或擦净
	高速触点(或低速触点)熔接	
	绕线电阻器内部短路	更　换
蓄电池	电解液不足或不适当	更　换
	极板接触不良	更　换

表 6-3　充电过量，有过充电气味故障产生原因和排除方法

故障部位	故　障　原　因	排除方法
接　线	交流发电机输出接线柱与磁场接线柱短路，变成为一个并激发电机	修　理
调节器	调节电压过高	重新调整
	调节器接地不良	重新接地线
	双触点调节器高速触接触点不良	重新打磨光
	触点式调节器触点熔接	更　换
	发电机与调节器的连接线断线	修　理
蓄电池	内部短路	更　换

表6-4 充电电流不稳定故障产生原因和排除方法

故障部位	故障原因	排除方法
接线	由于汽车的振动，导线的绝缘被覆层损坏，造成短路	修补或更换
发电机	发电机电枢线圈短路或断路	更换或修理
	有刷发电机电刷弹簧损坏	更换
	有刷发电机滑环与电刷接触不良	补修或更换
	接线柱松动，接触不良	修理
	激磁线圈即将短路或断路	修理
调节器	触点式调节器触点脏污	修理
	电压调整不当	调整或修理
	接线即将断开	修理
	调节器性能不良	修理或更换

（四）上海桑塔纳轿车充电系的故障诊断和排除方法

在上海桑塔纳轿车上采用JFZ1813Z型整体式交流发电机，其八个硅整流管、三个激磁二极管通过印刷电路板组成11管交流发电机电路，与集成电路调节器、刷架、电刷组件以及高性能抑制电容器连成一体，被安装在后盖外侧，采用这种结构，可在不拆开发电机前后盖的情况下，便可保养、维修或调换电刷、调节器、硅整流器等。

上海桑塔纳轿车充电系原理图如图2-102所示。其常见故障与排除方法如下。

1. 充电指示灯不亮

故障现象：接通点火开关或发动机停车时充电指示灯不亮。

故障原因：

(1) 充电指示灯灯泡烧坏；

(2) 点火开关、充电指示灯、交流发电机 D_+接线柱间导线断路；

(3) 交流发电机故障；

(4) 调节器故障；

(5) 蓄电池“+”接线柱到点火开关 30 号接线柱间导线接触不良；

(6) 蓄电池有故障。

故障诊断和排除方法：

若接通点火开关或在发动机停车而未断开点火开关时，充电指示灯未亮，可用直流电压表(0～30 V)或用万用表电压挡测 15 号接线柱与搭铁之间的电压是否为 12 V 左右。如不是，进一步检查蓄电池“+”接线柱到 30 号接线柱间导线连接情况，若接触良好，则为蓄电池故障。如其电压有 12 V 左右，可在点火开关 15 号接线柱与交流发电机“D_+”接线柱间串联一个 12 V、12 W 的试灯，如试灯亮，则为充电指示灯灯泡烧坏，或点火开关、充电指示灯、交流发电机 D_+接线柱之间接线断路。若试灯不亮，则为内装集成电路调节器有故障或交流发电机有故障。

2. 充电指示灯不熄灭

故障现象：发动机运转时充电指示灯不熄灭。

故障原因：

(1) 皮带过松；

(2) 充电线路有短路；

(3) 交流发电机硅整流器故障；

(4) 至 D_F 的导线或激磁绕组有短路。

故障诊断和排除方法：

首先检查交流发电机皮带张紧程度，如过松，应调整皮带张力。若皮带张力正常，可进一步检查发电机是否固定牢固和接线等情况，如上述情况均正常，拔下蓄电池正极接线柱附近线束中蓝色单根导线的插件。如灯仍亮，则故障可能是蓝色导线(非通往发电机一端)及此相关的中央线路板有短路。或者印刷线路板损坏。若拔下蓝色导线的插件，如灯不亮，则故障可能是通往发电机一端的蓝色导线短路，或交流发电机定子线圈短路和断路、硅整流元件损坏、激磁绕组短路及断路、电压调节器损坏。

3. 充电指示灯闪烁

故障现象：发动机停车时充电指示灯发亮，但其运转时充电指示灯闪烁，发动机启动困难。

故障原因：

(1) 充电回路中接触电阻大；

(2) 发电机故障；

(3) 调节器故障。

故障诊断和排除方法：

用 12 V、12 W 的试灯接在交流发电机 B_+ 与 D_+ 之间，启动发动机，试灯熄灭，则表示充电回路中接触电阻大，应检查各导线接触点是否接触良好；若试灯仍闪烁，则说明交流发电机内装的电压调节器有故障或交流发电机本身有故障，应将交流发电机拆下进行检查和修理。

4. 充电电流不稳

故障现象：发动机运转时，充电电流不稳，充电指示灯时亮时灭。

故障原因：

(1) 皮带松；

（2）充电回路中有接触不良；

（3）交流发电机或调节器内部有接触不良。

故障诊断和排除方法：

首先检查皮带张力，如过松应张紧；若正常，则按充电指示灯闪烁的故障进行诊断与排除。

5．有异响

故障现象：交流发电机发出异响。

故障原因：

（1）风扇擦前盖；

（2）皮带打滑；

（3）轴承损坏；

（4）爪极转子与定子擦铁。

故障诊断和排除方法：

根据交流发电机异响特点、发生部位，以及发电机的温升进行判断，如风扇擦前盖，则只需用起子将风扇碰擦处撬开一些即可；如皮带张紧程度不妥，可用手压试发电机传动皮带，对于新皮带，其挠度可调整到 2～3 mm，对于旧皮带，其挠度调整至约 5 mm 为宜。

（五）富康轿车充电系故障诊断和排除方法

富康轿车充电系采用 9 管整体式交流发电机，额定电压 12 V、额定电流 50 A、调节电压在 13.8～14.5 V，三个激磁二极管提供激磁电流，同时使充电指示灯不仅在停车后发亮警告驾驶员及时关闭电源开关，而且还能直接显示交流发电机工作是否正常，图 6－3 为其充电系电路图。

富康轿车充电系电路故障诊断与排除方法与桑塔纳轿车方法相似。

1．交流发电机不发电

故障现象：经检查传动皮带张紧程度正常、充电回路无短路、蓄电池接线可靠或蓄电池无故障，但发动机从怠速到 2 000 r/min 时，充电指示灯仍发亮不熄灭。

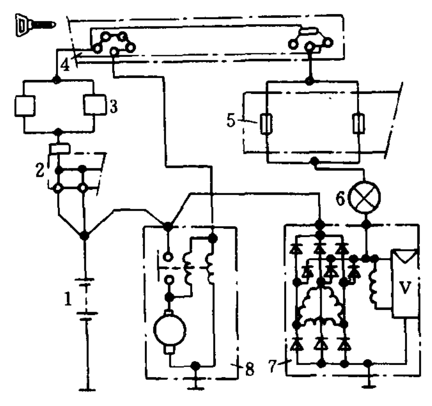


图 6－3　富康轿车充电系电路

1—蓄电池；2—电源盒；3—零件框图；4—启动钥匙开关；5—保险丝盒；6—充电指示灯；7—交流发电机；8—起动机

故障原因：

(1) 交流发电机输出接线柱松脱或断路；

(2) 电刷与集电环接触不良；

(3) 激磁绕组引出线或内部断路；

(4) 调节器故障。

故障诊断和排除方法：

启动发动机至一般工作转速，然后用直流电压表(0～30 V)或用万用表电压挡测量交流发电机电枢输出接线柱与负极搭铁之间的电压，如情况正常，该机电压应在 13.5～14.5 V之间。如果电压过高，则说明电压调节器有故障，如果电压偏低，则说明交流发电机有故障。如果故障在交流发电机输出接线柱松脱，可将其紧固排除。如果故障在交流发电机内部，则可将交流发电机拆下修理。若是其电压调节器损坏，应更换调节器。如果是其电刷与集电环接触不良，则更换电刷和刷簧。如果是其激磁绕组连接线断路或内部断路，则更换或修理转子。

2. 交流发电机充电不稳

故障现象:经检查传动皮带张紧程度正常、充电回路所有导线接触良好,但发动机运转达 2 000 r/min 时,充电指示灯仍忽亮忽灭。

故障原因:

(1) 电压调节器接线处接触不良或电压调节器故障;

(2) 发电机转子或定子绕组某处似断非断现象;

(3) 集电环脏污或电刷磨损严重或刷簧压力过弱。

故障诊断和排除方法:

首先排除发电机皮带无打滑现象和充电回路无短路或接触不良等外部原因后,可将交流发电机拆下,检查交流发电机内部电压调节器和各部连接线是否有接触不良或似断非断现象。若是,只须将其焊牢或紧固即可。否则应进一步检查调节器是否有故障,更换有故障的调节器。若转子绕组和定子绕组有故障,则更换或修理转子和定子。若集电环脏污,清理其脏污。若电刷磨损严重,则更换电刷。若刷簧压力过弱,则修理或更换刷簧。

3. 充电电流过大

富康轿车用交流发电机电枢绕组采用三角形连接,这种接线方式,其获得的电压较星形连接方式低,很少出现过充电现象。如发现蓄电池电液消耗过快、硫酸味过重、充电电路发热,就应对交流发电机输出电压进行测量。如交流发电机输出电压超过 15 V,可能是内装电压调节器有故障,应酌情检修或更换。此外。蓄电池单格短路、或其亏电严重也可能使充电电流过大,应视情况进行排除。

4. 交流发电机输出不足

其故障原因一般为皮带打滑,如是,则调整发电机皮带张

力或更换皮带。否则可能是交流发电机内部电刷和集电环接触不良、硅整流器短路或断路、激磁绕组部分短路、定子绕组部分短路或断路，进行相应修理或更换。

5. 交流发电机异响

其故障诊断与排除方法参见上海桑塔纳轿车充电系的故障和排除方法有关部分内容。

(六) 北京切诺基汽车充电系故障诊断和排除方法

北京切诺基汽车充电系统采用整体式交流发电机，型号为 CS121，额定电压 12 V、输出电流 61(或 56) A、输出转速 1 350 r/min，发电机用多槽皮带传动，发电机与发动机传动比为 1 000/365，激磁绕组电阻为 2.2～3 Ω，充电电路图为图 6－4 所示。

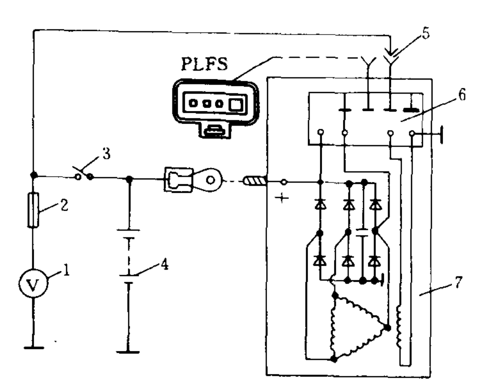


图 6－4 北京切诺基汽车充电电路图
1—电压表；2—仪表保险；3—点火开关；4—蓄电池；
5—插接件；6—电压调节器；7—交流发电机

CS 系列交流发电机采用内装式集成电路调节器。该调节器是多功能调节器，除调整发电机输出电压外，可控制充电指示灯，为电子转速表提供信号，可与计算机联网。电压调节器

采用插接件与电路连接，共有P、L、F、S四个接柱。由于用电压表指示供电系统的工作状况，所以充电指示灯接柱L未用。接柱P为半波整流接柱（可用于驱动继电器，检查发电机的整流元件或为发电机转速的检查信号），接柱S可与蓄电池检测元件相连。接柱F接到点火开关。

当出现下列一种或几种现象时，说明充电系统工作不正常。

(1) 电压表指示过高或过低；

(2) 蓄电池充电不足，表现为蓄电池电解液密度过低，起动机运转无力；

(3) 蓄电池过充电，表现为蓄电池电解液而降低过快，水耗多。

当发生上述现象时，可首先采用目测检查。如经目测找到故障所在，则可相应排除：

(1) 保险盒上保险片是否插紧，有无烧坏；

(2) 蓄电池接柱的清洁情况和紧固状态；

(3) 交流发电机、启动继电器等接头接线是否松动或腐蚀；

(4) 所有导线绝缘外皮有无开裂损坏；

(5) 发电机皮带是否过松、发电机安装螺钉是否拧紧、搭铁是否良好。

如果经过目测不能找到故障所在，应用仪表进行检测。

用一只直流电压表（0～30 V）或万用表直流电压挡将其接在发电机电枢接线柱和外壳之间，启动发电机，若电压表读数在13～15 V之间，表明交流发电机正常。若电压过高，表明调节器损坏。若电压表读数过低，则应拆下发电机电枢接柱上导线测量其电压，如果读数很小，甚至为零，说明发电机不发

电，或其输出内电路有短路、断路，可将交流发电机拆下进行更换或修理。

若交流发电机输出符合标准，则其无故障；应检查其输出外电路是否有搭铁或蓄电池故障。

（七）发电机总成不解体的检验方法

电磁激磁的交流发电机的硅整流器一般与交流发电机装在一起。安装方法一般有二种：一是安装在发电机的后盖内；二是安装在发电机的后盖外部。发电机总成不解体时检测方法如下：

1. 用万用表（$R\times1$ 挡）测量各接线柱之间的电阻值进行判断（如图 6－5 所示）

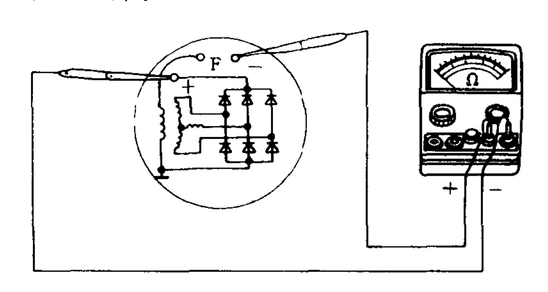


图 6－5　对不解体交流发电机用万用表测量其各接线柱之间电阻来判断故障的方法

表 6－5 所示为部分型号交流发电机正常电阻值。

表 6－5　发电机接线柱之间电阻值

交流发电机型号	“F”与“－”之间的电阻/Ω	“＋”与“－”之间的电阻/Ω		“＋”与“F”之间的电阻/Ω	
		正　向	反　向	正　向	反　向
JF1311Y、JF15、JFW13	5～6	40～50	＞1 000	50～60	＞1 000
JF2511Y、JF25、JFW23	19.5～21	40～50	＞1 000	50～70	＞1 000

由于硅元件是非线性元件，所以在用万用表检测时其数值有所不同。初始参考数值的确定最简易的方法可采用比较法，即事先找二三台合格的交流发电机，测定其数值，并记录有关值作为标准数据，然后再去检测不正常的交流发电机，便可对比分析出其故障所在。

有的交流发电机接线柱标记用"B_+"表示交流发电机电枢输出端；"E"表示为交流发电机负极接地端；"N"为三相绕组中性点抽头接线柱。这时可测"F"与"E"之间的激磁绕组电阻值，测"B_+"与"E"之间正向和反向的电阻值，测"N"与"E"之间的正向与反向的电阻以及"N"与"B_+"之间的正向与反向电阻值来判断发电机是否合格。

发电机经上述方法检测，测得的电阻值与正常值比较明显不符合，说明其有故障。

如果"F"与"－"接线柱之间测得的电阻(即激磁绕组的电阻)超过正常值，说明其电刷与滑环接触不良；若小于正常值，说明激磁绕组有匝间短路；如果其测得的电阻为零，说明两个滑环之间有短路或"F"接线柱搭铁。

若用万用表测得"＋"与"－"之间的正向电阻，仅为 10 Ω左右，说明有个别的硅元件已短路；如测得的实际值几乎近于零或等于零，说明装在端盖上的硅元件和装在元件板上的负极端用硅元件已被击穿、短路。

用万用表 $R\times1$ 挡，测量"N"与"B_+"以及"N"与"E"之间的正、反电阻值(有的交流发电机为"N"与"＋"以及"N"与"－"之间的正、反电阻值)，可判断其故障所在，方法见表 6-6 所示。

表 6-6　发电机接线柱之间电阻值

测量部位	正　向	反　向	判　　断
"N"与"B_+"之间的电阻/Ω	约 10	>1 000	三个正极端硅元件良好
	0	0	三个正极端硅元件有短路元件
"N"与"E"之间的电阻/Ω	约 10	>1 000	三个负极端硅元件良好
	0	0	三个负极端硅元件有短路元件，或电枢绕组搭铁

2. 在试验台上对发电机进行测试

在试验台上对带硅整流器的交流发电机进行试验，其试验电路如图 6-6 或图 6-7 所示，检查其空载性能和负载性能，可以判断发电机的工作是否正常。

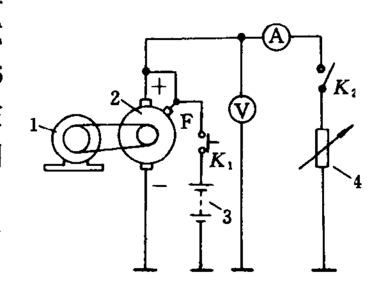


图 6-6　硅整流交流发电机试验电路之一
1—变速电动机；2—硅整流交流发电机；3—蓄电池；4—变阻器

1）调节器为外接式的交流发电机的测试方法

严格来说，发电机试验时应考虑电压调节器电阻对发电机性能的影响，但对检修发电机性能是否正常，图 6-6 试验电路已足够正确。

(1) 空载性能试验。将发电机固定在试验台上，采用变速电动机驱动，按图 6-6 电路接线。试验用电表精度不低于 1.5 级，在室温下进行。

先拖动发电机低速转动，然后按下按钮开关 K_1，用蓄电池（或其它低压直流电源）对发电机进行他激，释放开关 K_1，逐步提高转速，记下当发电机端电压达到额定值时的最小转速值，即为空载转速，此值应不大于如表 2-3 的规定。

(2) 负载性能试验。经空载试验后，接通开关 K_2，再逐步提高转速，改变负载电阻，使发电机输出电压和输出电流达到规定，记下此时的转速值，此值应不大于如表 2-3 的规定。如不符合要求，则表示发电机性能不合格。

2) 调节器为内装式的整体式交流发电机的测试方法

图 6-7 为整体式交流发电机试验电路，电路中接入一个充电指示灯 L，待发电机端电压升至额定电压值时，充电指灯熄灭。

这种发电机性能指标仍采用额定电压、额定功率表征，其试验步骤同上述方法，即先拖动发电机低速转动，然后按下开关 K_1，用蓄电池（或其它低压直流电源）对发电机激磁，打开 K_1，逐步提高发电机的转速，记下当发电机端电压达到额定值时的转速，应符合空载性能规定要求；然后闭合开关 K_2，继续提高发电机的转速，改变变阻器的电阻，使其额定电压和额定电流，记下此时的转速，应符合负载性能规定要求。

对于发电机性能指标采用额定电压、额定电流表征的，要判断发电机性能是否良好，可作冷态工作性能试验，方法如下：将发电机装在试验台上，按图 6-7 电路接线，闭合开关 K_1、K_2，启动变速电动机，并逐步提高转速到约 1 000 r/min 左右（电流为 2 A），发电机端电压达到试验电压 U_t（对于额定电压为 14 V 的发电机，$U_t = 13.5\ V \pm 0.1\ V$；对于额定电压为 28 V 的发电机，$U_t = 27\ V \pm 0.2\ V$，注意：这一电压是为阻止调节器发生调节作用）时，改变负载电阻，并继续提高发电机的转速至 1 500 r/min，使发电机输出电压达到试验电压 U_t，记录其输出电流，该电流应等于或大于额定电流的 25%。然后再逐渐提高转速，同时改变负载电阻，使发电机试验电压 U_t 和额定电流达到规定值，此时发电机的转速应小于或等于

额定转速规定值。试验结果应符合制造厂产品技术条件的规定，如表 2－1 和 2－4 所示的规定。

注意：对于带电子式调节器的交流发电机，负载试验时应与蓄电池并联工作。

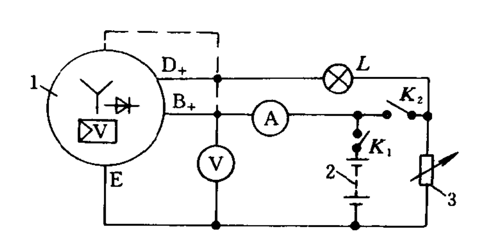


图 6－7 硅整流交流发电机试验电路之二
1—整体式交流发电机；2—蓄电池；3—变阻器

发电机试验时对其试验电路的要求和试验条件可详见第二章第六节。

发电机试验过程中如出现发热（例如轴承润滑不良、装配不良、定转子相擦等）或异响（例如风扇与前盖相擦、定转子相擦、轴承缺油等）应查出原因排除。

（八）发电机总成的解体方法

电磁激磁的硅整流有刷交流发电机和无刷交流发电机结构很多，总成解体的具体步骤不尽相同，但基本解体方法基本相同。

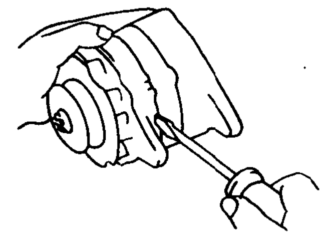
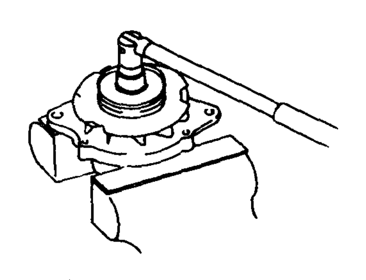


图 6－8 前盖与定子分离方法

（1）发电机在解体前可在前端盖、定子、后端盖等配合连接处划一些线条，作为装复时的标记。

（2）用起子（即旋凿）和专用内六角套筒扳手，拧开前端盖上的三只（或四只）螺栓，用木锒轻击后用起子轻撬如图 6－8 所示，一般可将前端盖连同转子一起与定子总成分离。

（3）将前端盖与转子总成，用老虎钳将转子轧牢如图6－9所示，老虎钳与转子轧紧处用铜皮或布块等物作衬垫，以免轧坏转子，然后用扳手或套筒扳手将紧固皮带轮的螺母、弹簧垫圈旋松，将螺母、弹簧垫圈、皮带轮、风扇、半园键、挡圈等分别拆下。


图6－9 拆卸皮带轮方法

（4）如图6－10所示，将前端盖装配与爪极式转子分离。

（5）按图6－11所示，将紧固件拆卸，然后将后端盖、硅整流器以及定子总成分离。如在后端盖上有防护罩，应先卸去防护罩，然后视情况，将硅整流器、后端盖、定子总成依次分离。

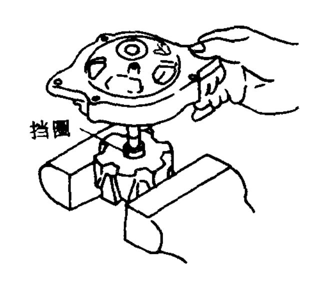
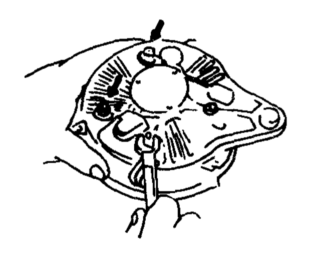


图6－10 转子与后盖分离方法


图6－11 电枢、硅整流器与后盖分离方法

（6）用电烙铁将硅整流器与定子线圈连接线分离（如图6－12）。

至此，整个发电机各部分零部件可全部完成分解。但应特别注意的是发电机解体时应按顺序保管好，并切忌丢失，以便装配时不会混错或丢失。

图 6-13 为一种硅整流有刷交流发电机的解体图。

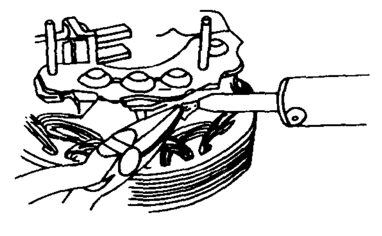


图 6-12 硅元件板与电枢绕组分离方法

但如某些发电机后盖上有外轴承盖，并且后轴承与转子轴端配合很紧，可采用如下方法解体：先将发电机三个(或四只)螺栓旋松取下。然后旋出后端盖的后轴盖上的三个螺钉，取下后轴承盖，检视轴伸出端是否有紧固螺母，如有还需先将此螺母用扳手旋松取下，用刚才旋出的三个螺钉将图 6-14 所示的工具装在原来的轴承盖的位置上，再旋入工具上的六角螺钉，即可将发电机转子从后盖中顶出。发电机其余部分解体方法与上述类同。

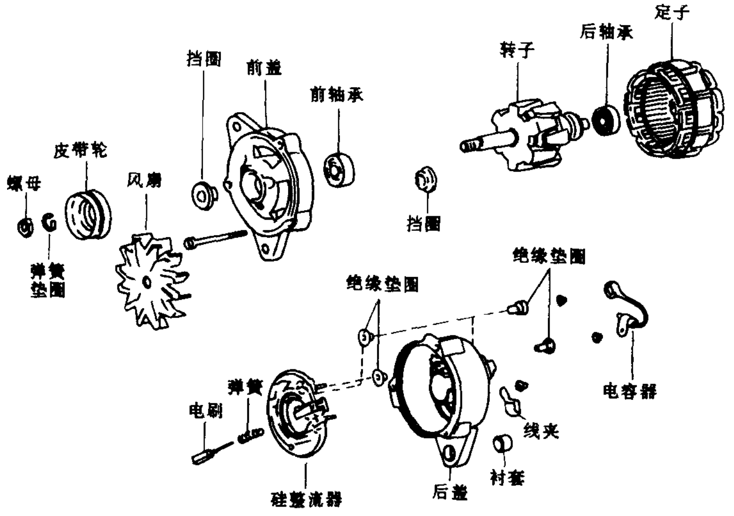


图 6-13 硅整流有刷交流发电机的解体图

(九) 有刷交流发电机解体后的检修

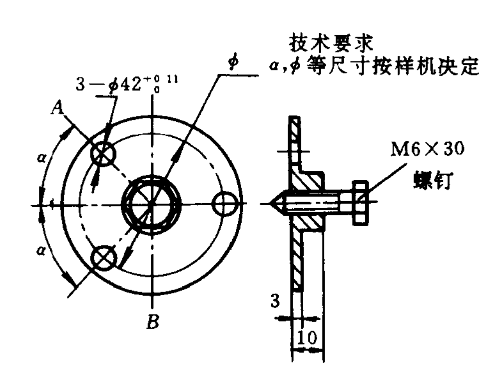


图 6－14　顶出转子的工具

1．爪极式转子的检修

1）滑环的检修

滑环表面应清洁、平整、光滑、没有油污等。如有油污，可用蘸有汽油的纱布擦净。滑环表面烧黑，可用“00”号细砂布磨光。滑环表面烧伤严重或不平，应将转子放到车床上对滑环进行抛光，然后在车床上用细砂布将滑环外圆打光，其粗糙度应达 0.8。

2）激磁线圈的检修

（1）断线、短路的检查。将万用表拨到 $R\times1$ 挡，将两个测试棒分别触及两个滑环，如图 6－15 所示。如测得的电阻符合表 6－7，

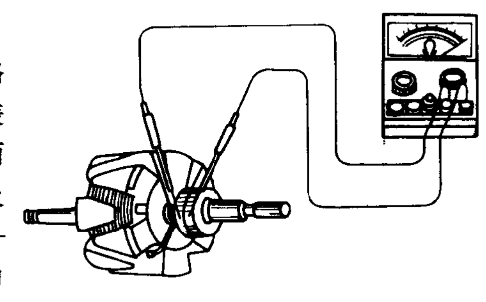


图 6－15　用万用表检查激磁绕组的方法

表 6-7 部分有刷交流发电机绕组的参数

交流发电机型号	电枢绕组						激磁绕组		
	线径/mm	每个线圈匝数	每相串联数	定子铁心槽数	绕组节距	绕组接法	线径/mm	匝数	20℃时电阻/Ω
JF01C	1.04	21	4	24	1～4	星形	0.53	500	5
JF1311Y	1.08	13	6	36	1～4	星形	0.62	530	5.3
JF2311Z	0.83	25	6	36	1～4	星形	0.44	1 080	19.3
JF1511Z	1.08×2	10	6	36	1～4	星形	0.74	640	4.6
JF2511Y	1.08	20	6	36	1～4	星形	0.51	1 200	18
JF173	1.2×2	7	7	42	1～4	星形	0.86	700	6
JF1 000	1.08×2	12	7	42	1～4	星形	0.74	1 000	9.6
JFZ1813Z	2	7	6	36	1～4	星形	0.85	450	2.7
JFZ1813ZB	1.3×2	7	6	36	1～4	星形	0.85	450	2.7

说明激磁线圈良好；如测得的电阻小于规定值或很小，则说明激磁线圈有匝间短路或短路；如测得的电阻值极大，说明激磁线圈已断路。

（2）对地绝缘的检查

a. 用万用表检查对地绝缘。将万用表拨至 $R>1$ k 挡，将其一个测试棒触及滑环，另一个测试棒触及转子的爪极或轴，如图 6－16 所示。如测得的阻值极大，说明激磁线圈对地绝缘良好；否则，说明激磁线圈对地绝缘不良或击穿。

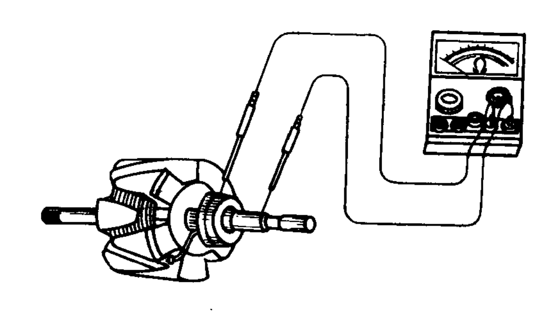


图 6－16 用万用表检查激磁绕组对地绝缘的方法

b. 用 220 V 交流电源检查对地绝缘。用一个 15～40 W 灯泡串联在 220 或 110 V 交流电源的电路中，用一个测试棒触及滑环，另一个测试棒触及转子的爪极或轴，如图 6－17 所示。如果灯泡发亮，表示激磁线圈与滑环连接的导线或激磁线圈对地绝缘已击穿。如灯未亮，说明激磁线圈对地绝缘良好。

（3）激磁线圈的修理　若激磁线圈断路、短路或对地击穿发生在滑环与引线的连接处，则对于断路只要将其重新焊接、包扎即可；对于短路、对地击穿只要排除故障后将其包扎好即可。

如激磁线圈断路、短路或对地击穿等故障部位在爪极转

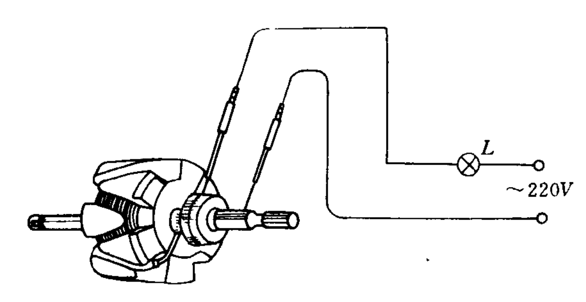


图 6-17　用交流电源检查激磁绕组对地绝缘的方法

子内腔内，则必须拆开转子，方可修理。

有些人在拆爪极转子时，采用图 6-18 所示的方法，将两块爪形磁极连同磁轭一起压出，因其压配合接触面积较大，常常会不慎将轴压弯。即使没有压弯，在轴的滚纹处外径尺寸也会变小，当爪形磁极与磁轭再次压入轴中，其配合就不能保证牢固。而爪极转子是高速运转的部件。因此，采用这种方法修复的爪极转子不能保证其必要的可靠性。

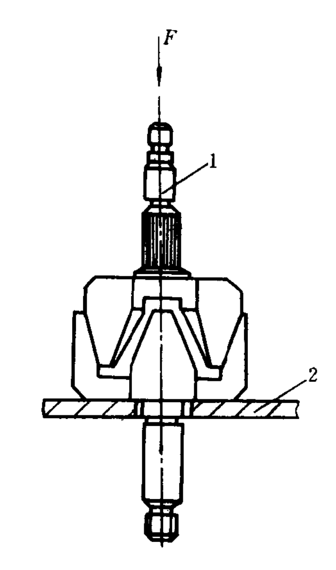


图 6-18　爪极转子拆卸部位不合理
1—爪极转子；2—压床工作台

当这类发电机的爪极转子激磁绕组故障部位在转子内腔时，常因修理不当而报废。

作者通过实践，建议用如图 6-19 所示的方法，即在圆筒

形压装工具上旋上 p 个(p 为爪极转子的极对数)作为垫铁用的螺钉,分别顶住滑环端那一块爪形磁极的各个爪端。然后按图示方向加压,使其压出轴。由于一块爪形磁极与轴配合面积较小,故容易将其压出。轴因受力较小,也不易压弯曲。滑环端爪形磁极取下后,如发现仅为激磁线圈引出线断线,只需将其重新联接,并焊牢即可。如激磁线圈内部短路、断路或对地绝缘击穿,则可将线圈取出,换上新绕制的激磁线圈。接着可将取下的爪形磁极重新压入轴内。然后在该滑环端爪形磁极圆盘上钻孔、攻螺纹,用三个沉头螺钉将其固定在磁轭上,并注意爪形磁极圆盘平面与磁轭平面紧贴无缝。这种方法修复的爪极转子牢固可靠,其质量与采用新转子无异。

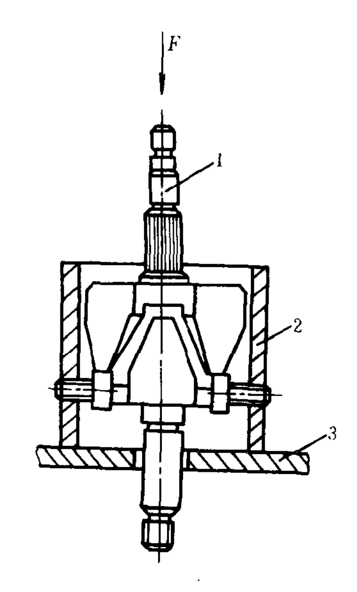


图 6－19 爪极转子拆卸部位合理
1—爪极转子;2—拆卸工具;
3—压床工作台

激磁线圈损坏,在没有设备和材料的情况下,一般还是送修理部门修理方便。但要自制,其方法如下:

如线圈架完好,可仍利用原线圈架,将它与磁轭(或模心)以及绕线夹板一起放在绕线机上即可进行绕制。如无线圈架,可用 0.5 mm 厚的绝缘纸制作。其中心孔的大小应刚好套入磁轭上。准备完毕,即可在图 6－20 所示的绕线机上进行绕制。绕制完毕的线圈应进行浸绝缘漆处理,并在烘箱内烘干。

3）转子轴的检修

首先将爪极转子如图6－21那样装在两顶针之间进行校调，用百分表检查转子轴的径向圆跳动。如果在轴两端轴承处经检查径向圆跳动超过0.1 mm，又经冷压校调后无效，应更换转子。

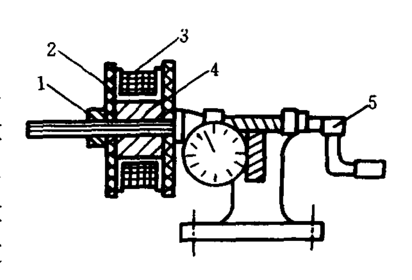
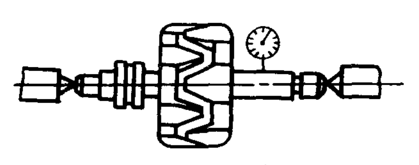


图6－20　在绕线机上绕制激磁线圈
1—螺母；2—夹板；3—激磁线圈；
4—磁轭；5—绕线机

其次，还应检查转子轴外圆的磨损情况，转子轴外径与轴承的配合一般为－0.01～＋0.015 mm，转子轴与皮带轮孔的配合为－0.01～＋0.03 mm，超过太大，应更换转子。


图6－21　检查轴的径向圆跳动的方法

为此，在检查、拆装、修理过程中均应小心，否则有可能前功尽弃。

2. 定子的检修

1）定子铁心的检查

用游标尺或内圆卡尺检查定子铁心是否失圆变形。如有失圆变形，但定子与转子装配后只是轻微相擦，可用锉刀修正。交流发电机定转子之间的间隙一般在0.25～0.35 mm之间为佳。如失圆变形严重，使定转子相擦难以修复，应更换新定子。

2）电枢绕组通路的检查

(1) 用万用表检查。如图 6-22 所示,用万用表 $R\times1$ 挡测量三相绕组三个线端间电阻,如电阻值 $R<1\ \Omega$,且三相绕

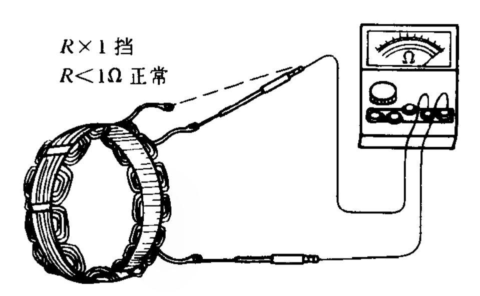


图 6-22 用万用表检查电枢绕组的通路

组线端间的电阻是相等的,则说明三相绕组是正常的;若测得的电阻极小(与另二相绕组相比,电阻值有明显差异,几乎为零),则说明其绕组内部已短路;若测得的电阻值极大或指针不动,说明其绕组内部已有断路处。

(2) 用蓄电池电路检查。如图 6-23 所示,用一个 12 V、25~40 W 灯泡与一个蓄电池串联成的电路检查三相绕组线端,分别调换测其中二个线端,如灯均亮,表示绕组是正常的;若灯不亮,说明绕组内部有断路之处。

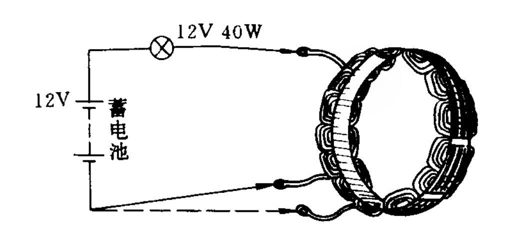


图 6-23 用蓄电池电路检查电枢绕组通路

(3) 用 220 V 交流电源检查。在 220 V 交流电路中串联

一个 220 V、15～40 W 的灯泡，如图 6－24 所示，交流电源的一端测试棒触及三相绕组的任一线端，另一测试棒分别测试

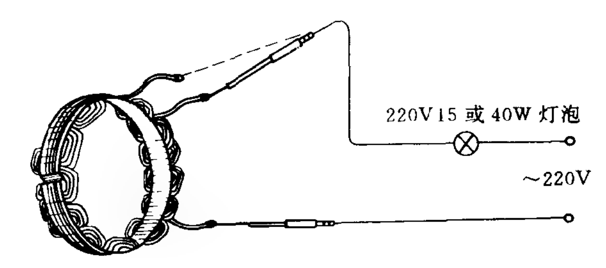


图 6－24　220 V 交流电源检查电枢绕组的通路

其它二个线端之一，如灯均亮，表示绕组是正常的；若灯不亮，说明绕组内部有断路之处。

采用这种方法测试，除注意安全、防止触电（220 V 电源不是安全电源，触电有生命危险）外，灯泡必须采用 220 V 规格，否则采用低压灯泡即会烧毁。

采用这种装置检查三相绕组的相间短路，其效果较佳。即将未经接线的三相绕组的六个线端，分别由该装置的两个测试棒触及检查，每相首尾两端之间应通路，灯亮说明正常；若其中一相绕组线端与另一相绕组线端相通，发现灯亮，说明该两相绕组有相间短路。

3）电枢绕组对地绝缘的检查

（1）用万用表检查。用万用表的 $R\times1\ k\Omega$，将其一个测试棒触及三相绕组的任一个线端，另一测试棒触及定子铁心，如图 6－25 所示，若测得的电阻值为极大值，说明三相绕组对地绝缘良好；否则说明其绕组对地绝缘不良或击穿。

（2）用 220 V 交流电源检查。在图 6－26 所示的 220V 交流电源装置中，其一个测试棒触及三相绕组的任一线端，另一测试棒触及定子铁心，若灯不亮，则说明电枢绕组对地绝缘良

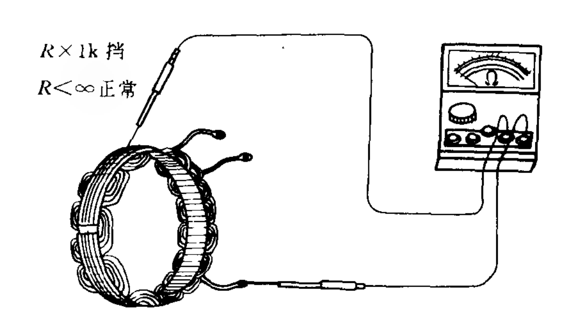


图 6-25 用万用表检查电枢绕组的对地绝缘

好;若灯亮,说明其绕组对地击穿;若灯微亮,说明其绕组对地绝缘不良。

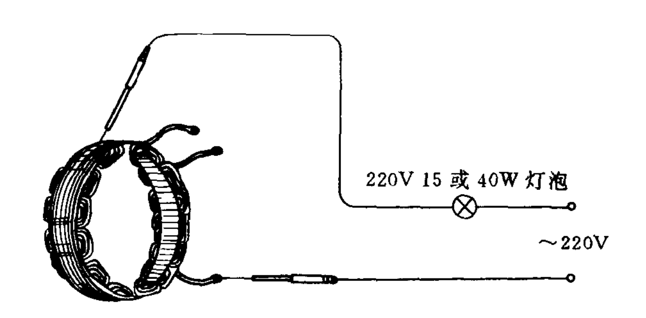


图 6-26 220 V 交流电源检查电枢绕组对地绝缘

4）电枢绕组的修理

当测试出三相绕组有故障时,如果故障部位在引出线或在定子表面附近,一般可不拆卸全部绕组进行维修。

采用上述检查绕组故障的方法,万用表(或试灯)的一个测试棒接有故障绕组的线端,另一个触及定子铁心。用一根将端部削成锐形的胶木板(或竹棒)作插入工具,依次插入有故

障可疑的绕组与定子铁心之间，同时观察万用表指针变化。如果工具插到某处，万用表指针摆动或复位，说明该处绕组搭铁。可用绝缘纸或胶木片嵌插进去，使绕组与铁心隔离，直至绕组对地绝缘良好为止。经如此修理后的绕组，应浸渍绝缘漆并烘干，以便使其绝缘可靠。

如电枢绕组烧坏或经修理无效，则可更换绕组。在拆除旧绕组时，应将绕组的匝数、线径、绕组节距、绕组接法等参数记录下来，或保留一个较完整的绕组，作为制作夹板和绕线时的依据。

图 6－27 在绕线机上绕制电枢绕组
1—夹板；2—电枢绕组；3—绕线机

重绕电枢绕组的方法如下：

如图 6－27 所示，可将绕制一相绕组用的夹板放入绕线机上进行绕制。对于一相串联线圈数为六个的发电机绕组，则一次绕完六个，作为一相。如此共绕三个相绕组。

然后每相绕组按要求嵌放至定子铁心槽内。定子铁心槽内用 0.3～0.4 mm 的青壳纸作槽绝缘。槽绝缘长度一般应比定子铁心长度长出 4～6 mm。槽绝缘及绕组嵌放部位如图 6－28 所示。

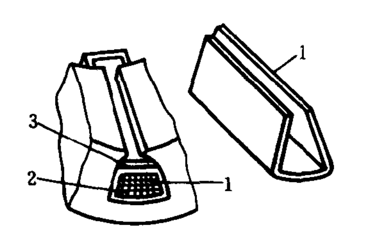


图 6－28 槽绝缘形状与绕组嵌放部位
1—槽绝缘；2—绕组；3—槽楔；4—定子铁心

现以定子铁心为 36 槽、每相串联线圈数为 6 个，绕组节距为 1～4 为例，三相绕

组嵌放可按下述顺序进行，如图6-29所示。以定子铁心上的定位槽作为第一槽（如规定离定位槽若干槽开始也可），在该槽中嵌入第一相绕组的第一个线圈的起始边，其线头留在槽外，由于槽节距为1～4，故第一个线圈的末边应嵌入第四槽内，然后再将第二个线圈的起始边嵌入第七槽中，依次把第一相绕组的六个线圈全部嵌完。接着由第三槽开始嵌入第二个相绕组的第一个线圈的起始边，末边嵌入第六槽内，依次把第二相绕组的六个线圈全部嵌完。以后由第五槽开始，依次将第三相绕组的六个线圈全部嵌完。

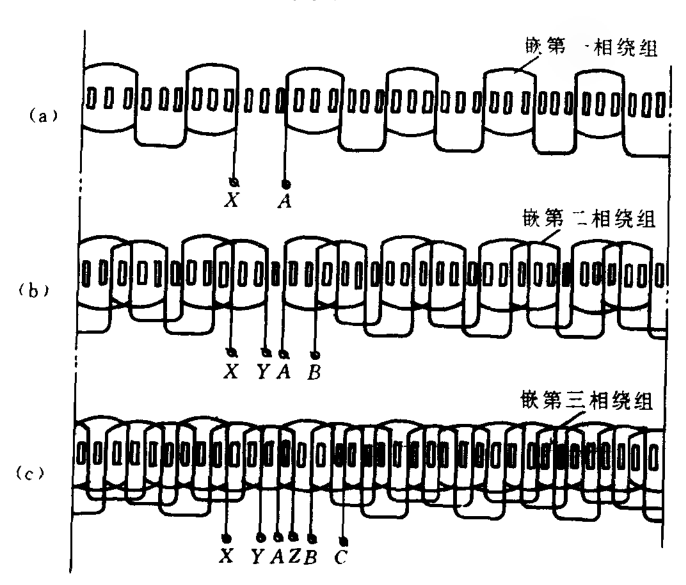


图6-29 三相绕组的嵌线方法原理图

(a)一相绕组嵌完；(b)二相绕组嵌完；(c)三相绕组全部嵌完

然后打上槽楔，检查电枢绕组有无短路、击穿现象。接着可按星形接法（有时采用三角形接法）进行接线工序。最后将

其作绝缘浸漆处理。

3. 硅整流器的检修

1）硅元件的检查

利用硅元件具有单向导电性，可用万用表或蓄电池试灯电路来检查其是否有故障。

（1）用万用表检查。拆开电枢绕组与硅整流器的连接线，用万用表逐个测试后端盖和元件板上的每个硅元件的正反向电阻，即可判断硅元件是否正常。

由于硅元件特性是非线性的，其正向电阻值在外加电压数值不同时，其电阻值是不同的。所以不同的万用表测得的阻值是不同的。正向电阻 8～10 Ω 是用 500 型万用表 $R\times1$ 挡测得的。

硅元件的检查方法如下：如图 6－30 所示，对于测量压在

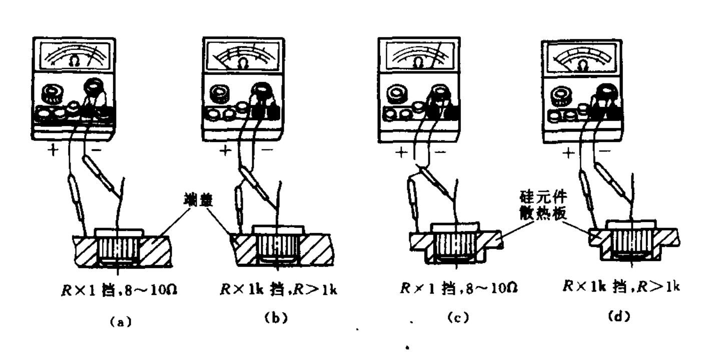


图 6－30 用万用表检查硅元件

后端盖上的负极端硅元件，可用万用表的“＋”测试棒触及后端盖，用万用表“－”测试棒触及硅元件的引出线端，若测得的电阻值约为 8～10 Ω 左右，说明硅元件正常；若其电阻值为零或近于零，说明硅元件短路；若其电阻值为极大，说明硅元件

断路。将万用表测试棒对调，用万用表“+”测试棒触及硅元件引出线端，用万用表“-”测试棒触及后端盖，若测得的电阻值大于 1 kΩ，说明硅元件正常；若测得的电阻值很小，则说明硅元件短路。压装在元件板上的三个硅元件，其极性则相反，为此测得的结果与上述相反。

(2) 用蓄电池电路检查。如图 6-31 所示，用一个 12 V 蓄电池和一个 12 V15 W 或 40 W 灯泡组成串联电路逐个测试后端盖和硅元件散热板上的每个硅元件，也可判断其是否正常。

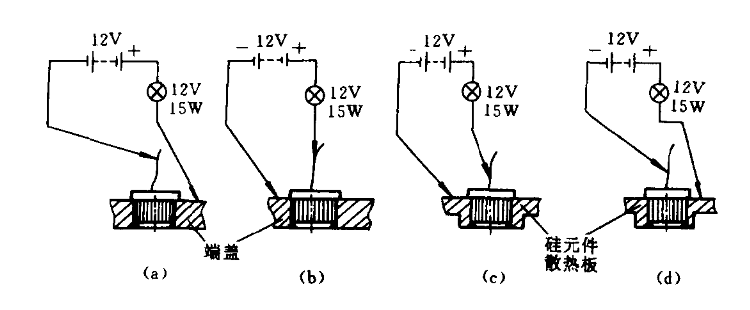


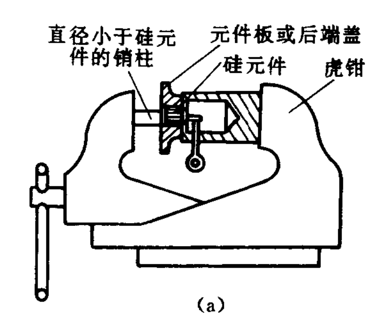
图 6-31　用蓄电池电路检查硅元件

对于测量压在后端盖上的负极端硅元件，将蓄电池的“+”极接在后端盖上，蓄电池“-”极经试灯接在硅元件的引线端上，若试灯亮，说明硅元件正常；若试灯不亮，说明硅元件断路。然后将蓄电池的“+”极接在硅元件的引线端，蓄电池的“-”极接在后端盖上，若试灯不亮，说明硅元件正常；若试灯亮，说明硅元件短路。压装在元件板上的三个正极端硅元件，其极性则相反，为此其测得的结果也相反。

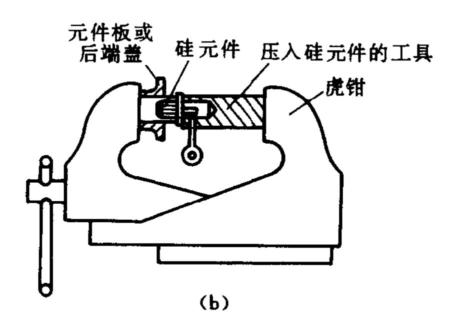
2) 硅元件的更换

经检查，如发现硅元件短路、断路，则必须更换。更换硅元

件严禁敲打，可应用如图 6 - 32 所示的专用工具和方法将硅



(a)



(b)

图 6 - 32　拆装硅元件的方法

(a)压出硅元件的方法；(b)压入硅元件的方法

元件压出或压入。更换硅元件时，元件外壳与孔必须是紧配合，二者不可配合过松，否则一经震动，硅元件就会从孔中松脱；但二者也不宜过紧，否则硅元件压入孔中元件外壳变形，致使硅元件内部结构损坏。其配合尺寸应符合表 2 - 12。此外，更换硅元件应分清其是正极端硅元件还是负极端硅元件，不可选错。

3）集成硅整流器的检查

现代汽车交流发电机上已广泛应用集成式硅整流器，用万用表检查方法如图 6－33 所示。如果有一个硅元件出现故障，就应更换，或更换对应的一个元件散热板组件。

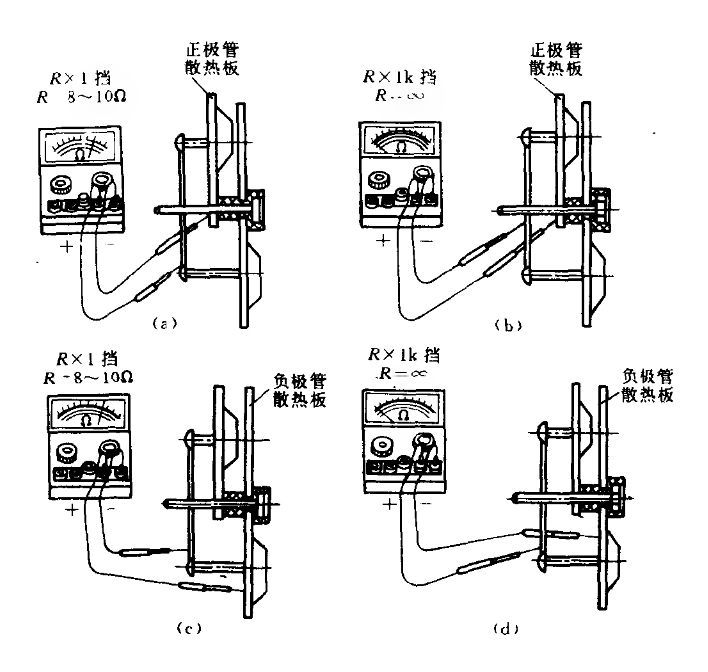


图 6－33 集成型硅整流器的检查

4．轴承的检查

对于单列向心球轴承和一面带有防尘盖的轴承，可以拆除内外轴承盖，用汽油清洗轴承，并用手推动轴承使其旋转，放手后轴承应轻快地自行旋转几秒钟，无异常现象。如发现轴承松动严重，或转动时有明显响声，或发现缺损与变形，则应更新轴承。

然后，轴承用复合钙基润滑脂或 4 号高温润滑脂填充轴

承内腔，但加入量不宜过多，一般为以轴承内腔 2/3 为佳，以免发电机运转时轴承发热或漏油而影响绕组导电及其绝缘性能下降。

轴承的油封拆下后可在汽油中清洗，然后蘸以少量机油。把油封装入轴承座内时，为了不致偏心，可用一根心轴的外圆作为油封定位之用，待轴承盖装配完毕后，将心轴工具取出，就可保证油封与轴承同心。

对于密封式轴承检查，如用手推动使其加速旋转，应旋转自如。如有明显声响，或发现轴承松动、零件变形、损伤严重、轴承旋转不灵活等应更换新轴承。

5. 电刷装置的检查

电刷在刷架孔内应能自由上下活动，不可有阻卡现象。如发现电刷卡住，可用细锉刀将电刷卡住处修正。电刷上不应有油污，否则会影响导电。如电刷上有油污可用蘸有汽油的纱布将它擦净。电刷长度不宜过短，如在弹簧自行压力下，电刷最多只能伸出刷架 5 mm 左右，否则必须更换新电刷。更换新电刷时，先用“00”号细砂布光面面对滑环，砂面面对电刷，用手向下按住滑环弧面，尽可能一个方向推动。如此经过几次修磨后就能提高电刷与滑环的接触面、减小火花、增加电刷与滑环的使用寿命。

刷架应无变形、破裂或烧损。如经修正无效，应更换新刷架。

电刷弹簧的压力应符合原生产厂的规定，刷簧压力过小，容易增大火花；刷簧压力过大，容易磨损电刷与滑环。刷簧一般压力在 1～2 N 之间。不合格的刷簧应更新。

6. 前后端盖的检查

前后端盖应无变形和裂损，轴承与端盖轴承座的配合，一

般在－0.01～＋0.03 mm。

（十）无刷交流发电机解体后的检修

悬臂爪极式无刷交流发电机与上述有刷交流发电机相比较，其结构主要区别在转子部件和激磁绕组装置上。

1. 转子部件的检修

悬臂爪极式转子在制造厂都经过严格的动平衡试验。对使用单位和修理单位来说，如无明显的损伤，可像有刷交流发电机的爪极转子那样，将它放在两顶针之间进行校调，用百分表检查转子轴的径向圆跳动（参见图 6-18）。如果在轴两端轴承挡处径向圆跳动超过 0.1 mm 并经冷压校调无效，或悬臂爪极式转子外圆的径向跳动超过 0.15 mm 并经车削（允许转子外圆有未光出的黑斑，转子直径不许过小，以定转子之间的气隙不大于 0.4 mm 为准）无效，应更新转子。

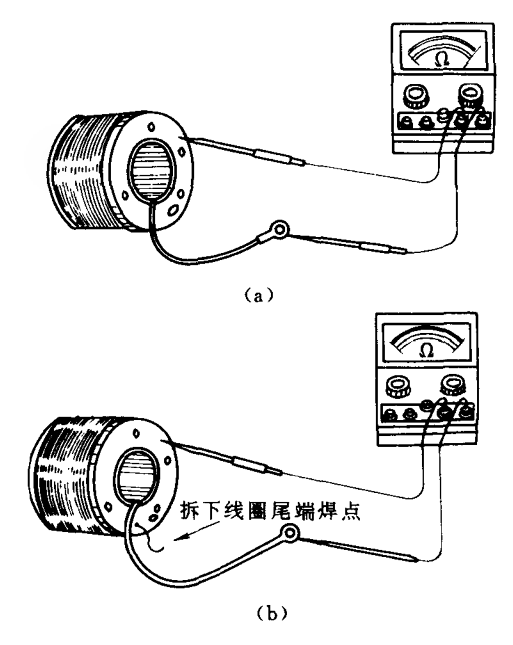
2. 激磁线圈的检查

1）断线、短路的检查

将万用表拨至 $R\times1$ 挡，然后将两个测试棒分别触及激磁线圈的一个引出线端和线圈支架，如图 6-34(a)所示，如测得的电阻符合制造厂规定要求（例 JFW14X 型悬臂爪极式无刷交流发电机，其激磁线圈为 3.5～3.8 Ω，又如 JFW28X 型悬臂爪极式无刷交流发电机，其激磁线圈为 15～16 Ω），说明激磁线圈良好；如测得的电阻小于规定值或很小，则说明激磁线圈有匝间短路；如测得的电阻值极大，说明激磁线圈已断路。

2）对地绝缘的检查

如图 6-34(b)所示，将万用表拨至 $R>1$ kΩ 挡，测得的电阻值极大，说明激磁线圈对地绝缘良好；否则，说明激磁线圈对地绝缘不良或击穿。



(a)

(b)

图 6-34　悬臂爪极式无刷交流发电机检查激磁绕组的方法

悬臂爪极式无刷交流发电机其余零部件的检修可参见上述有刷交流发电机解体后的检修有关内容。

（十一）发电机装复注意事项

（1）发电机装复程序，一般可参照发电机解体时的相反程序进行。

（2）电枢绕组与硅整流器连接处位置要正确，如需要焊接，应焊透焊牢，不能有假焊。焊接电子元件，焊接要迅速，电烙铁一般采用 45 W 为宜。

（3）对于有刷交流发电机，有的电刷装置在发电机内部，装配时应先将刷簧和电刷装入刷架内，然后用一个直径为

1～1.5 mm的直钢丝作工具(其后端应弯有弯头)插入端盖和刷架的小孔中,将电刷与刷簧卡住在刷架中(见图6－35)。待发电机全部装复后结束进行测试前,才将这根钢丝抽出。这时,由于刷簧的作用,电刷会被刷簧自然地压在滑环上。如果发电机电刷可以从外部拆装,最后装入电刷即可。

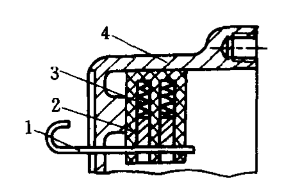


图6－35 电刷的装法
1—装电刷工具;2—电刷;3—弹簧;4—后端盖

(4) 发电机装配后转子在定子内孔中应转动自如,定转子之间不能有相擦或轻微相擦现象。如有相擦现象,应旋松三个(或四个)螺钉,然后一边转动转子,一边用木槌轻轻敲击端盖和轴端,直至装配后转子转动自如。

(5) 发电机装复后可先用万用表检查各接线柱之间的电阻值,应符合规定要求。其方法和要求同发电机总成不解体的万用表检验方法。

(6) 将装复的发电机装于试验台进行测试,其性能应符合规定要求。

(十二) 触点式调节器的使用和检修

1. 使用注意事项

(1) 触点式调节器(包括双触点式和单触点式调节器),其额定电压有14 V和28 V之分,需与相应的交流发电机、蓄电池配套使用。

(2) 调节器安装时应垂直放置,接线柱向下或向右。

(3) 要经常检查调节器的密封性、触点是否有烧蚀现象,以及触点的间隙是否合理等。

(4) 发现调节器失控,应及时排除故障,不得带故障运

行。

(5) 调整调节器电压，必须按调节电压规定要求进行调节，不能过低或过高，不可任意调动。

2. 双触点调节器的检修

1) 触点的检修

(1) 低速触点的检查。将万用表拨至 $R\times1$ 挡，用两测试棒分别触及“火线”与“磁场”两接线柱，如其电阻值为零，则说低速触点接触良好；否则说明低速触点接触不良。

(2) 高速触点的检查。将万用表拨至 $R\times1$ 挡，用两测试棒分别搭“磁场”与“搭铁”，同时按下衔铁臂使高速触点闭合，其电阻值应为零，否则说明其触点接触不良。

经检查，如发现触点有轻微烧蚀，可用“00”号砂布将其磨平，方法如下：将砂面向外对叠，塞入触点间，来回拉动数次，然后再用干净的硬纸在触点间拉动几次，清除其夹留的砂粒等杂物。如触点烧蚀严重，难以用砂布修平，则应将触点拆下，在油石上将其磨平，或更换新触点。经修复后，用万用表 $R\times1$ 挡测量触点的接触电阻，如电阻值为零，则说明接触已良好；否则，还应打磨至其接触良好为止。

触点厚度过小，如小于 0.4 mm 时，应更换触点。

2) 电阻的检修

首先观察电阻的外部，看是否有烧断处，然后再测量其电阻值，如电阻丝烧断或电阻值不符规定(如表 6－8)应予更换。

3) 线圈的检修

用万用表检查调节器线圈是否断路、短路及绝缘情况，其电阻值应符合规定要求(如表 6－8)。如线圈有断路或短路时，应更换线圈或重新绕制。

表 6-8 双触点式调节器电阻、线圈数据

型 号	电阻/Ω(20 ℃)			电压调节器线圈			继电器线圈
	补偿电阻	附加电阻	加速电阻	线径/mm	匝数	电阻/Ω	
FT70	20	9	0.4	ϕ0.29	700	7.2	
FT70A	80	40	2	ϕ0.21	1 541	30	
FT61	13	8.5	1	ϕ0.31	820	9.5	
FT61A	80	80	2	ϕ0.21	1 540	30	维持线圈 Q_2: 第一部分，ϕ0.17 mm，1 420 匝，R=35 Ω； 第二部分，ϕ0.25 mm 高强度漆包康铜线 72～77 匝，第一、二部分总电阻为 65 Ω 启动线圈 Q_1： ϕ0.17 mm，1 420 匝，R_{20}=35 Ω

4）各部分间隙的检查与调整

衔铁与铁心之间的间隙以及高速触点的间隙都应符合规定要求(如表 6-9)。如不符合规定要求，应进行调整。

表 6-9 双触点式调节器的调整数据

型 号	规格/V	高速触点间隙/mm	衔铁与铁心间隙/mm	低载时调节电压值/V	低载与半载时调节电压的差值/V	继电器闭合电压/V
FT70	12	0.3～0.4	1.2～1.3	13.8～14.5	≯0.5	
FT70A	24	0.3～0.4	1.2～1.3	27.6～29	≯1	
FT61	12	0.3～0.4	1.05～1.15	13.2～14.2	≯0.5	
FT61A	24	0.2～0.3	1.20～1.3	27.6～29	≯1	8～10

注：1. 试验时配合工作的交流发电机转速为 3 000 r/min；
2. 低载是指对 12 V 交流发电机的负载电流为 4 A；对 24 V 交流发电机的负载电流为 2 A

(1) 衔铁与铁心的间隙调整。以 FT70、FT70A 型调节器为例，如图 6-36 所示，松开静触点支架的螺钉，然后按规定

间隙要求将静触点支架提升或降低进行调整。间隙的测量可用 0.05～1.0 mm 厚的厚薄规进行。

(2) 高速触点间隙的调整。可轻轻振动上活动触点臂进行调整。

3. 带灭弧系统的单触点式调节器的检修

带灭弧系统的单触点式调节器衔铁与铁心间的间隙为 1.4～1.5 mm。当确认是调节器发生故障时，应首先检查触点是否有污染不通，然后检查其线圈、电阻是否符合表 6－10 规定。如不符合要求，可参考前述方法修理。

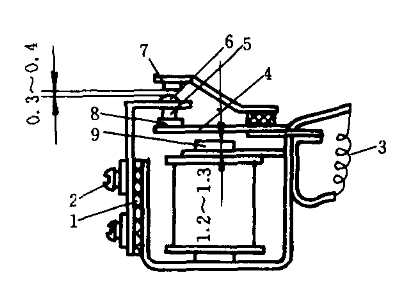


图 6－36 FT70、FT70A 调节器间隙的调整
1—固定触点支架；2—螺钉；3—弹簧；4—衔铁；5、8—低速触点；6、7—高速触点；9—铁心

表 6－10 FT111、FT211 型调节器线圈、电阻参数

型号	磁化线圈			扼流线圈			电阻			电容量	二极管
	导线/mm	匝数	电阻/Ω	导线/mm	匝数	电阻/Ω	附加电阻/Ω	加速电阻/Ω	补偿电阻/Ω		
FT111	ϕ0.31	900	8.8	ϕ0.5	15	—	150	4	15	0.1 μF	1 A
FT211	ϕ0.29	1 400	18	ϕ0.5	15	—	300	8	60	100 pF	1 A

4. 触点式调节器试验与调整

调节器试验时应尽可能在满足下列条件下进行：

(1) 调节器安装时应垂直放置，接线柱向下或向右；

(2) 仪表精度等级要求：电压表一般不低于 0.5 级，电流表不低于 1 级；

(3) 与调节器相应配合工作的交流发电机应有足够的热

态输出能力。

对于双触点式调节器，以 FT70 型为例来说明其试验调整的方法(见图 6 - 37)。其步骤如下：

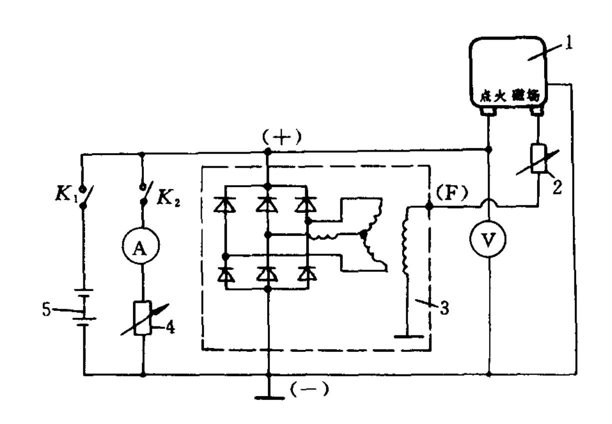


图 6 - 37 触点式调节器试验电路

1—触点式调节器；2—磁场可变电阻；3—交流发电机；4—负载电阻；5—蓄电池

(1) 将经初步调好衔铁与铁心间隙和触点间隙的调节器安装在试验台上，将磁场可变电阻、负载电阻拨到其阻值最大的位置。闭合开关 K_1，接通蓄电池，启动电动机，使交流发电机拖至 1 500～2 000 r/min 下运转。

(2) 逐渐减少磁场可变电阻，使蓄电池对交流发电机的激磁线圈进行他激。当电压表的电压大于蓄电池电压时，切断开关 K_1，闭合开关 K_2，接通负载电阻。

(3) 先调低负载下的第二级调节电压(高速触点副)，继续减小磁场可变电阻的阻值，使发电机电压逐渐升高，同时将负载电阻的阻值适当减小，使发电机输出电流控制在额定电流的 10%左右。当磁场可变电阻的阻值减小到零时，发电机

输出电压逐渐升至13.5～14.5 V,若其电压高于或低于13.5～14.5 V,可调整弹簧的拉力。拉长弹簧则电压升高,反之降低。

(4) 然后调第一级(低速触点副),使发电机低负载达到额定负载的50%(负载的大小以改变负载电阻的阻值来达到),调节电压值若过高或过低,一般仍以改变弹簧拉力为主。测得的第一级调节电压值,比较第一级电压与第二级电压之间的差值,称为级差。当第一级电压比第二级电压下降超过0.5 V时,可适当减小衔铁与铁心间的气隙;若第一级电压高于第二级,则应放大气隙。

(5) 级差符合要求后,再用改变弹簧拉力进行精调第二级电压,使其稳定在13.8～14.5 V范围内。然后再测试第一级电压,检查级差是否仍符合要求,如此往复几次,直至符合要求为止。如参数正确,即可装盖,装盖后再复验一次即可使用。

在周围介质温度为20 ℃±5 ℃时,双触点式调节器(又称双级电磁振动式调节器)的调节电压值试验参数应符合表6-11规定。

表6-11 双触点式调节器的调节电压值

额定电压/V	10%额定负载时调节电压/V	50%额定负载时调节电压变化/V	发电机转速/($r \cdot min^{-1}$)
14	13.5～14.5	不大于0.5	3 500
28	27～29	不大于1	3 500

对带灭弧系统单触点式调节器的调节电压值试验步骤如下:

(1) 将经检修和调整后的调节器装在试验台上,将磁场可变电阻、负载电阻调到其阻值最大的位置。闭合开关K_1,接

通蓄电池，启动电动机，把交流发电机拖至 1 500～2 000 r/min下运转。

(2) 逐渐减少磁场可变电阻，使蓄电池对交流发电机的激磁线圈进行他激。当发电机电压大于蓄电池电压时，切断开关 K_1，闭合开关 K_2，接通负载电阻。

(3) 然后逐渐升高发电机转速和负载电流到规定值，如表 6－12 所示要求，在 10 s 内读取调节电压值。

表 6－12　带灭弧系统单触点式调节器的调节电压值

额定电压/V	50％额定负载时的调节电压/V	发电机转速/(r·min^{-1})
14	13.5～14.5	3 500
28	27～29	3 500

经试验，如不符合规定要求，进一步检查触点是否污染、接触是否良好，衔铁与铁心间隙是否符合要求等。在其它情况正常条件下，可调整弹簧拉力。拉长弹簧，电压上升，反之下降。

(十三) 晶体管式调节器的使用和检修

1. 使用注意事项

(1) 晶体管式调节器的额定电压有 14 V 和 28 V，它必须与相应的交流发电机、蓄电池配套使用。

(2) 调节器应垂直安装，接线柱向下，以达到防溅作用。

(3) 认清调节器的搭铁方式，注意正确接线。

对于内搭铁式调节器，如图 6－38 所示。其接线要点是：

① 调节器的磁场接线柱“F”与发电机磁场接线柱“F”相连接；

② 调节器的火线接线柱“＋”经点火开关与发电机电枢

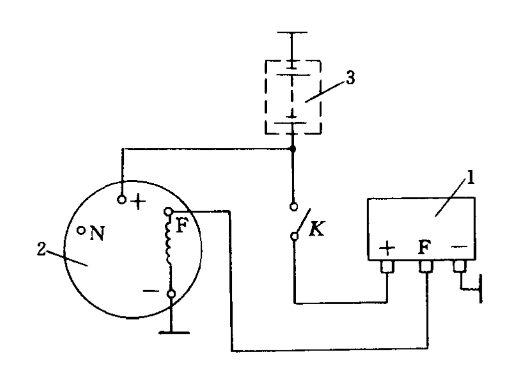


图 6－38　内搭铁调节器的接线

1—内搭铁调节器；2—交流发电机；3—蓄电池

接线柱“＋”相连接；

③ 调节器“－”与发电机的磁场线圈另一端“－”相连接或公共搭铁。

对于外搭铁式调节器，如图 6－39 所示。其接线要点是：

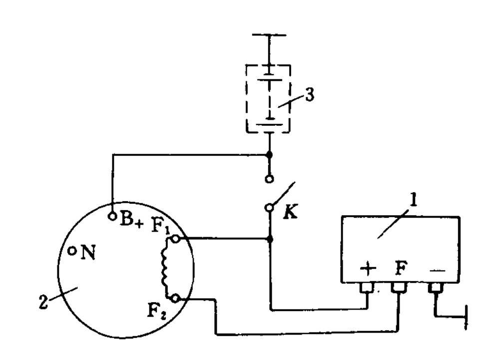


图 6－39　外搭铁调节器的接线

1—外搭铁调节器；2—交流发电机；3—蓄电池

① 调节器的磁场接线柱“F”与发电机磁场线圈一端接线

柱相连接；

② 调节器火线"＋"与发电机磁场线圈另一端接线柱相连后再与点火开关相连；

③ 调节器负极端搭铁。

(4) 必须与蓄电池联合工作，使蓄电池起到大电容作用，同时必须避免突然卸载，即突然电源切断，以免损坏晶体管。

(5) 严禁划火。在发电机与调节器连接未拆除情况下，绝对不允许用导线搭接接线柱去试是否有火花，否则将烧毁晶体管。

(6) 调节器内的晶体管损坏需更换时，焊接用的电烙铁应采用 45～75 W 为宜。焊接时用金属钳子钳住管脚以助散热，焊接要迅速，避免损坏晶体管。

(7) 调节器更换时，必须根据其额定电压、搭铁方式和发电机功率等来决定。一般情况下，应尽可能配用原型号的调节器。

2. 晶体管式调节器内外搭铁方式的判断

为了判断与交流发电机配用的晶体管式调节器是内搭铁式还是外搭铁式，其方法很多，这里介绍一种较简单的判断方法。在图 6－40 电路中，试灯为 12 V、5～10 W，以 12 V 蓄电池（或其它直流电源）作电源，在被测调节器正常条件下，当接通开关 K，若试灯亮，则说明调节器

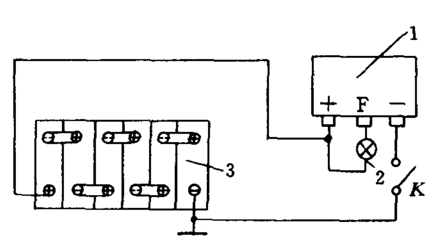


图 6－40　判断晶体管式调节器搭铁方式的电路

1—晶体管式调节器；2—试灯（12 V、5～10 W）；3—蓄电池（12 V）

为外搭铁式；若其试灯不亮（或将试灯接在调节器“F”与“－”端之间，试灯亮），则说明调节器为内搭铁式。

3. 晶体管式调节器常见故障

晶体管式调节器常因用户使用不当或晶体管式调节器制造不良而损坏或不能正常使用。现以 JFT121 型晶体管式调节器为例，将其常见故障现象和可能产生的原因介绍如下，供参用。

图 6－41 为 FJT121、JFT241 型晶体管式调节器的电路原理图。在故障分析前，应弄清它的工作原理和各元件的作用。其电路一般可分为三个部分：

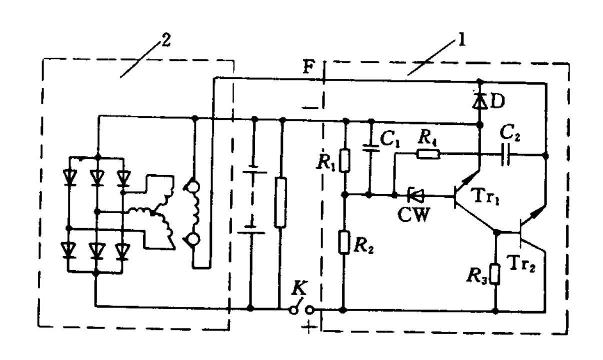


图 6－41 JFT121、JFT241 型晶体管式调节器的电路

K—点火开关；F、＋、－—接线柱；C_2—电容器；C_1—电解电容器；D—续流二极管；T_{r_1}、T_{r_2}—三极管；CW—稳压管；R_1、R_2、R_3—电阻

（1）Tr_2、Tr_1、R_3 组成开关电路，控制发电机激磁电流的大小。

（2）CW、R_1、R_2 组成调节器规定的电压调节值的检测电路。

（3）其它辅助元件作为保护部分，使调节器性能稳定可

靠，以及避免电子元件过压过载损坏。

其常见的故障现象和可能产生的原因列于表 6－13 中。

表 6－13　晶体管式调节器常见故障现象和可能产生的原因

故障现象	可能产生的原因
不充电、发电机磁场电路不通	a. 连接线断路或脱焊； b. 大功率三极管 Tr_2 内部损坏，或与其电极相接的连接线裂断，使发射极 e 与集电极 c 间处于断路状态； c. 稳压管 CW 和三极管 Tr_1 发射极 e 和集电极 c 间被短路，Tr_1 总处于导通状态，使 Tr_2 处于截止状态； d. 二极管 D 被击穿，发电机磁场电路短路。
充电电流过大，发电机激磁电流不能控制	a. 稳压管 CW 断路，Tr_1 不能导通，使 Tr_2 不能截止而始终处于导通状态； b. Tr_1 故障，Tr_2 不能截止，使其始终处于导通状态； c. Tr_2 发射极 e 与集电极 c 之间短路，处于常通状态

4. 晶体管式调节器的检修

如果经判断是调节器故障，将调节器从车上拆卸，打开调节器观察内部接线和印刷电路各焊接部分是否有脱焊、有接触不良或颜色发生明显变化、电路是否有短路或断路、接线柱是否有生锈及接触不良等。通过直观检查有些故障可即排除或找到排除故障的方向。如直观难以确诊，可用下面方法进一步检查调节器的故障：

1）用万用表检查

用万用表 $R\times10$ 挡分别测量调节器接线柱“＋”与“－”、“＋”与“F”、“F”与“－”之间的电阻，其数值符合规定要求，如表 6－14，则表示调节器正常。

表 6-14 晶体管式调节器各接线柱之间的电阻值(kΩ)

型　号	“+”与“-”之间的正反向电阻	“+”与“F”之间的电阻		“-”与“F”之间的电阻	
		正向电阻	反向电阻	正向电阻	反向电阻
JFT121	0.2～0.3	0.09	>50	0.11	>50
JFT241	0.4～0.5	0.11	>50	0.11	>50
JFT126	1.5～1.6	4.6～5	7.5～8	5.5	6.5～7
JFT246	3	4.6～5	9.5～10	5.5	8.5
JFT106	1.4～1.6	1.5～2	3～4	1.4～1.6	3～4
JFT107	1.4～1.6	1.5～2	3～4	1.4～1.6	3～4
JFT206	1.5～2	1.3～1.5	2～3	1.3～1.5	4～6
JFT207	1.5～2	1.3～1.5	2～3	1.3～1.5	4～6

若“+”与“F”之间正、反向电阻均为零，则可能是 Tr_2 管已击穿短路；若“+”与“F”之间的正反向电阻均很大，则可能 Tr_2 管已断路。

2）用蓄电池电路检查

对于额定电压为 14 V 晶体管式调节器，可采用 12 V 蓄电池二个、12 V 2～8 W 试灯一个，若晶体管式调节器为外搭铁式，其电路可按图 6-42 接法；若晶体管式调节器为内搭铁式，其电路可按图 6-43 接法。

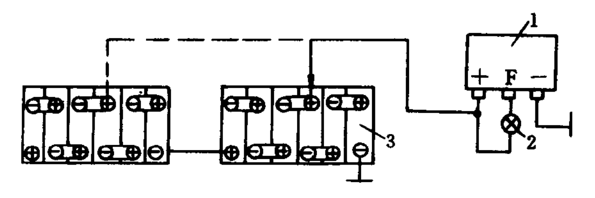


图 6-42　用蓄电池作电源检查外搭铁调节器故障的电路
1—晶体管式调节器(外搭铁式)；2—试灯；3—蓄电池(每单格电池为 2.7～1.7 V)

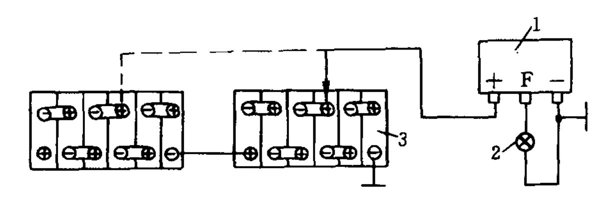


图 6-43 用蓄电池作电源检查内搭铁调节器故障的电路
1—晶体管式调节器(内搭铁式);2—试灯;3—蓄电池(每单格电池为 2.7～1.7 V)

然后将从调节器正端引出的导线由实线沿虚线方向,逐格逐格接触蓄电池的正端,发现试灯亮度渐渐增加。当蓄电池电压达 13.5～14.5 V 时,试灯由亮忽然熄灭,则说明该调节器是正常的。若在试验过程中发现试灯一直不亮或蓄电池电压大于 15 V 以上试灯仍未见熄灭,则说明调节器有故障,应进一步拆开调节器进行检修。

对于额定电压为 28 V 晶体管式调节器,上述蓄电池检测电压应提高到 30 V 以上,试灯应采用 24 V 2～8 W 规格。调节器试灯熄灭的调节电压值为 27～29 V。

3) 用直流可调电源检查

用一台输出电压为 0～30 V、电流为 3 A 以上可调整流电源和一个试灯(24 V 2～8 W),按图 6-44 连接。检查方法如下:

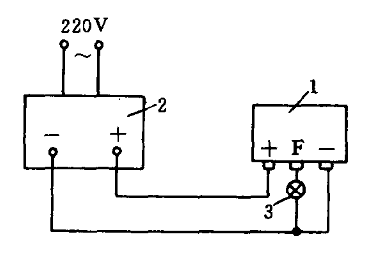


图 6-44 用直流可调电源检查内搭铁调节器电路之一
1—晶体管式调节器;2—可调直流电源;3—试灯

对于额定电压为 14 V 晶体管式调节器(内搭铁式)接通

电源，将电压从零逐步上升，此时试灯渐渐变亮。当其电压升至调节器的调节电压值(13.5～14.5 V)时，试灯忽然熄灭。如将其电压逐步降低，试灯又亮起来，这说明此调节器工作正常，无故障。

如果出现如下情况：

(1) 可调直流电源电压逐步上升并超过调节电压值(13.5～14.5 V)而试灯不熄灭，调节器不能起调节作用，说明其有故障。

(2) 可调直流电源电压逐步上升，并超过调节电压值，试灯不亮，说明调节器有故障。

对于额定电压为 28 V 晶体管式调节器(内搭铁式)，其检查故障方法与电路同上。

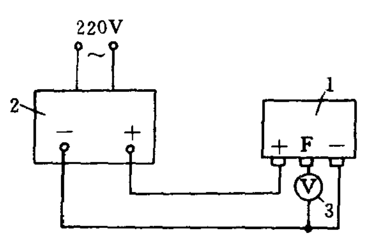


图 6－45 用直流可调电源检查内搭铁调节器电路之二
1—晶体管式调节器；2—可调直流电源；3—万用表直流电压挡

如果在图 6－45 所示电路中，采用万用表代替试灯也可，即将万用表直流电压挡接入电路，使可调直流电源电压由零逐步上升，则万用表电压值也相应上升。当其电压升到调节器调节电压值以上时，万用表电压值为零，这说明调节器工作正常，否则，调节器有故障。

然后参考表 6－13 晶体管式调节器常见故障现象和可能产生的原因，将可疑元件从电路板上脱焊取出，或如图 6－46、图 6－47 那样只脱焊一端进行检查。晶体管式调节器的零件检查方法如下：

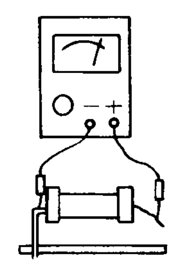


图 6－46　用万用表检查电阻

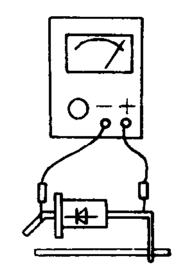


图 6－47　用万用表检查二极管

(1) 电阻的检查。电阻的故障常因烧毁、断头而引起。当电阻烧焦或断线时，一般可从外部直接观察。若由于电阻阻值变化而影响调节器性能时，可用万用表欧姆挡测量，并与规定值比较，校对其电阻值是否合格。

用万用表测电阻时，可将被测电阻的一端脱焊，取出另一端即可，如图 6－46 所示。

(2) 二极管的检查。用万用表检查二极管时，可将被测二极管的一端脱焊，取出另一端即可，如图 6－47 所示。将万用表拨至 $R\times1$ 挡，正负二个测试棒交替搭二极管的二端，如二极管正向有一定阻值，反向阻值极大，说明其正常；如其正反向阻值均几乎为零，则说明二极管短路；如其正反向阻值均极大，说明二极管断路。

(3) 电容器的检查。电容器常见故障有击穿、漏电以及失效等。可用万用表粗略判断其好坏。

对容量较小的电容器，可将万用表拨至 $R\times10$ k 挡，如图 6－48 所示。将二个测试棒分别与电容器的两端相接，如表针向右(即向零方向)摆动一下，不久又逐步向左(即向∞方向)摆动，退回原处，说明电容器是好的。如果表针未回至无限大

处，说明电容器有漏电现象。

对于电解电容器，可将万用表拨至 $R\times1$ k 挡测量，如图 6－49 所示。电解电容器有正负极，检查时可将万用表正测试棒搭电容器的负极，负测试棒搭电容器的正极，这时表针向零方向摆动，表示电容充电，不久又逐步向无限大方向摆动，并慢慢稳定下来，如电阻值在几十千欧到几百千欧以上，说明电容器是好的；如果电阻值虽有几百千欧但没有摆动现象，说明电解电容器内电解液干了，不能使用。如果表针未能返回，说明电容器击穿。

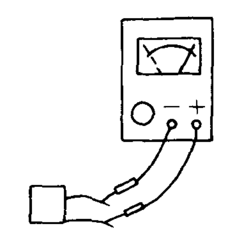


图 6－48　用万用表检查电容器

如果电解电容器"＋""－"极标记不清，可按图 6－49(a)接法漏电小；按图 6－49(b)接法漏电大来判断电解电容器的极性。

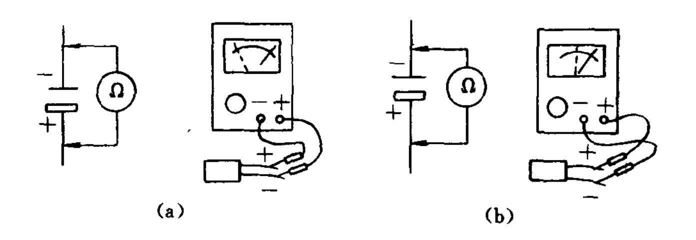


图 6－49　用万用表判断电解电容器极性

(a)漏电小；(b)漏电大

(4) 三极管的检查。检查三极管时，先应识别其管脚，图 6－50 为常见的三极管管脚的位置，但如标记不清或找不到其标准手册时，可用万用表来判断，如图 6－51 所示。

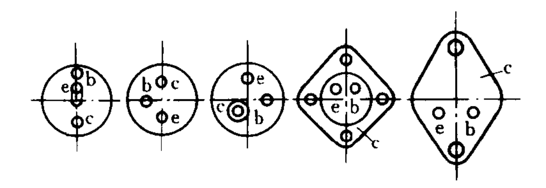


图 6-50　三极管管脚位置示意图

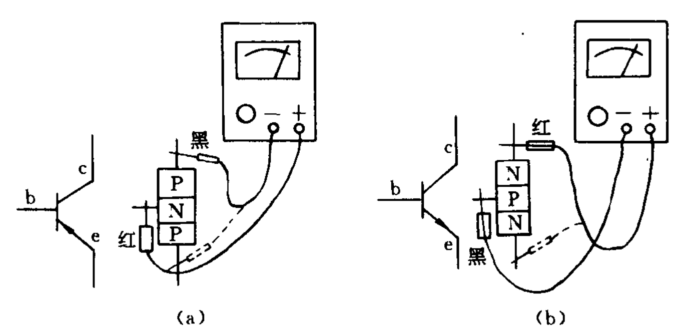


图 6-51　用万用表检查三极管

(a)测 PNP 型三极管;(b)测 NPN 型三极管

先判断基极 b,将万用表拨至 $R\times100$ 挡或 $R\times1$ k 挡,假设三极管其中一脚为基极,将正测试棒搭“基极”,负测试棒分别搭另二个管脚,如测得均为低电阻值,则正测试棒搭的即是基极,并且该三极管是 PNP 型;然后把正负测试棒对调一下,即负测试棒搭“基极”,正测试棒分别搭另二个管脚,如果测得均为高电阻值,证明上述判断是正确的,如图 6-51(a)所示。

按上述测试方法,如果负测试棒搭“基极”,正测试棒分别搭另二个管脚,如测得均为低电阻值,则负测试棒搭的即是“基极”,并且该三极管是 NPN 型;然后把正测试棒搭“基

极”，负测试棒分别搭另二个管脚，测得均为高电阻值，证明上述判断是正确的，如图 6－51(b)所示。

其次，用万用表可大致检查三极管的好坏。对于小功率 PNP 三极管，将万用表拨至 $R\times100$ 挡时，在三极管“e”与“c”极之间，正测试棒搭“c”极，负测试棒搭“e”极，测得的电阻值在数千欧以上是正常的；若表针数值很小，则三极管质量不好。在小功率三极管“b”与“c”极之间，万用表正测试棒搭“c”极，负测试棒搭“b”极，测得的电阻值在数百千欧以上是正常的；否则三极管故障。而其“b”与“e”极之间，正测试棒接“e”极，而负测试棒搭“b”极，测得的电阻值，对高频管在 20 kΩ～30 kΩ，对低频管在 100 kΩ 左右，是正常的。

对于大功率 PNP 三极管，将万用表拨至 $R\times10$ 挡，在三极管“e”与“c”极之间，将万用表正测试棒搭“c”极，负测试棒搭“e”极，其电阻值在 100 Ω 以上是正常的；在“b”与“c”极之间，将万用表拨至 $R\times100$ 挡，正测试棒搭“c”极，而负测试棒搭“b”极，其电阻值在 10 kΩ 左右是正常的。在“b”与“e”极之间，万用表拨至 $R\times100$ 挡，正测试棒搭“e”极，负测试棒搭“b”极，其电阻值在 10 kΩ 左右是正常的。

对于 NPN 小功率管，将万用表拨至 $R\times100$ 挡，将万用表正测试棒搭“e”极，负测试棒搭“c”极，此时电阻越大则三极管越好。如万用表正测试棒搭“b”极，负测试棒搭“c”，此时电阻值越大越好。如万用表正测试棒搭“b”极，负测试棒搭“e”极，此时电阻值在 500 kΩ 以上为正常，否则三极管性能不稳定。

5. 晶体管式调节器的试验与调整

晶体管式调节器试验条件与触点式调节器相同。其试验电路如图 6－52 所示。其试验步骤如下：

（1）将调节器装在试验台上，将磁场可变电阻、负载电阻拨至其电阻值最大的位置。合上开关 K_1 接通蓄电池，启动电动机，使交流发电机拖至 1 500～2 000 r/min 下运转。

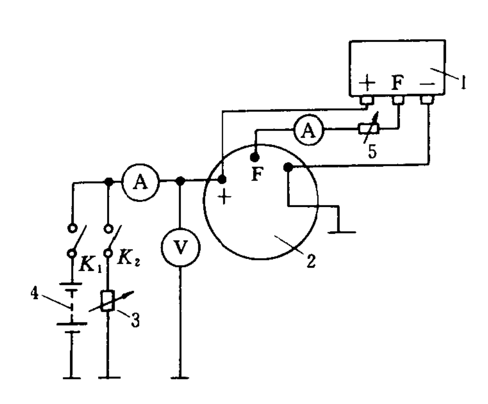


图 6-52　晶体管式调节器试验电路

1—晶体管式调节器；2—交流发电机；3—负载电阻；4—蓄电池；5—磁场可变电阻

（2）逐渐减少磁场可变电阻，使蓄电池对交流发电机的激磁线圈进行他激，当发电机电压大于蓄电池电压时，合上开关 K_2，接通负载电阻。

（3）然后逐渐升高发电机转速和负载电流到规定值，如表 6-15 所示要求，记下调节器调节电压值。

表 6-15　晶体管式调节器的调节电压值

额定电压/V	50%额定负载时的调节电压/V	发电机转速/($r \cdot min^{-1}$)
14	13.5～14.5	3 500
28	27～29	3 500

经试验，如不符合规定要求，应作进一步调整。调整方法如下：例如对于 JFT121、JFT241 型晶体管式调节器，可将 R_1 脱焊取下，并相应焊上 0～200 Ω 的电位器，然后按上述方法进行试验，同时相应调整电位器的电阻值，直至使调节器调节电压值达到规定值。然后取下电位器，用万用表或电桥测量出其电阻值，然后取一个与其电阻值相同的电阻焊上即可。对于

有微调电位器的调节器，则可直接调节该电位器进行调整。

（十四）集成电路调节器的使用和检查

目前，国产新型汽车上，如桑塔纳、奥迪、夏利、北京切诺基汽车上，五十铃柴油车上的交流发电机均采用了内装式集成电路调节器，外形如图 6－53 所示。

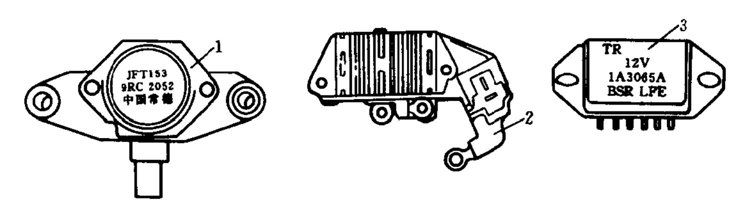


图 6－53　集成电路调节器的几种外形

1—桑塔纳、奥迪轿车交流发电机用集成电路调节器；2—夏利轿车交流发电机用集成电路调节器；3—五十铃柴油车交流发电机用集成电路调节器

由于集成电路调节器通常是以混合集成电路技术为基础的。混合集成电路采用了两种技术，即半导体技术和厚膜或薄膜技术，它把电阻、电容及导线和晶体三极管、二极管及稳压管等分立元件同时制在一块基片上，从而构成了集成电子电路。

尽管集成电路调节器有体积小、电压调节精度高、可增大激磁电流、可靠性高、寿命长等优点，但这均以正确使用为条件，否则却很容易损坏。

1. 使用注意事项

（1）对于内装式集成电路调节器，它与交流发电机组成一体（即整体式交流发电机），使用时必须遵守硅整流交流发电机各项使用注意事项外，还应注意下列注意事项（对于分离式集成电路调节器，使用注意事项和检查方法可参见晶体管

式调节器使用注意事项和检查方法)。

(2) 集成电路调节器与交流发电机联合工作时,必须与蓄电池并联工作。其充电电路各接线部分必须接触良好。严禁在发电机运转时突然切断蓄电池的通路,以免产生高压电,致使发电机和集成电路调节器中的电子元件损坏。

(3) 蓄电池接线时,其正负极性不可接错,以免烧坏发电机和调节器的电子元件。

(4) 严禁划火,即严禁在发电机运行时,将发电机输出端接导线对地划火来检查发电机是否发电,这将极易损坏发电机和调节器的电子元件。

(5) 发现调节器失控,调节电压过高,如车灯发白易烧坏灯泡、蓄电池发热和缺水致使早期损坏等;或调节器电压过低,如蓄电池经常亏电、灯光暗淡等,应及时排除故障,不带故障运行。

2. 集成电路调节器内外搭铁方式的判断

对于内装式集成电路调节器,其组装在交流发电机内部,激磁绕组常采用外搭铁方式电路。在被测调节器为正常条件下,欲验证调节器是否为外搭铁方式,其可按以下方法接线。

图 6-54 为引出端为“D_+”、“D_F”、“D_-”的调节器。若接于“D_+”与“D_F”之间的试灯亮,说明调节器确是外搭铁式。电路中蓄电池为 12 V,试灯为12 V 5～10 W。

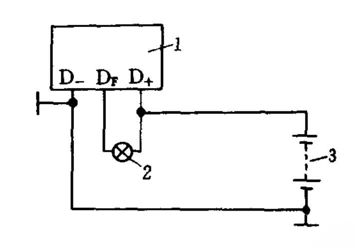


图 6-54 验证外搭铁调节器电路之一
1—集成电路调节器;2—试灯;3—蓄电池

图 6-55 为引出端为“B”、“IG”、“F”、“L”、“E”

的调节器，其中“L”悬空。若接于“B”与“F”之间的试灯亮，说明调节器确是外搭铁。

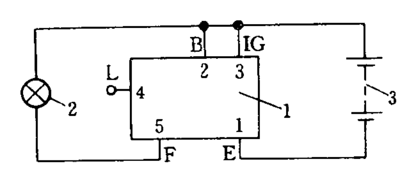


图 6-55 验证外搭铁调节器电路之二
1—集成电路调节器；2—试灯；3—蓄电池

图 6-56 为引出端为“B”、“IG”、“F”、“L”、“N”、“E”的调节器，其中“N”悬空，充电指示灯应亮。同时，若将试灯接于“B”与“F”之间，灯不亮；将试灯接于“F”与“E”之间，灯亮，说明该调节器为内搭铁式。

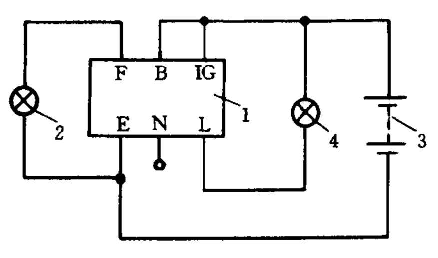


图 6-56 验证内搭铁调节器电路
1—集成电路调节器；2—试灯；3—蓄电池；4—充电指示灯

3. 集成电路调节器好坏的检查

如果确认故障不在电源电路和发电机，需判断集成电路是否好坏，可采用如下方法检查。

1）用万用表检查

找二个合格的同型号调节器测定其各接线柱之间的电阻，与可疑调节器作比较，如基本相同，说明该调节器正常；如果其电阻值相差很大，则说明其有故障。例如：对桑塔纳轿车交流发电机上用集成电路调节器，用 MF30 型万用表 $R\times1$ 挡测其各接线柱之间的电阻值，如表 6-16 所示。对可疑调节器各电阻值进行测定，并与正常值比较，如电阻值大致相同，说明调节器是好的；如正负测试棒交替测得调节器其中二个接线柱之间的电阻值均

为零，说明调节器内部电路短路；如其电阻值均为∞，说明调节器内部电路断路。

表 6-16　桑塔纳轿车电压调节器接线柱间电阻值

万用表		电阻值/Ω
正测棒搭接的调节器接线柱	负测棒搭接的调节器接线柱	
D_+	D_F	约 10～20
D_F	D_+	∞
D_+	D_-	约 60～80
D_-	D_+	∞
D_F	D_-	约 10～20
D_-	D_F	∞
注：采用 MF30 型万用表		

2）用蓄电池电路检查

对于额定电压为 14 V 的桑塔纳轿车交流发电机用集成电路调节器，可采用 12 V 蓄电池二个、12 V 2～8 W 试灯一个，其电路可按图 6-57 接法。然后将从调节器正端引出的导

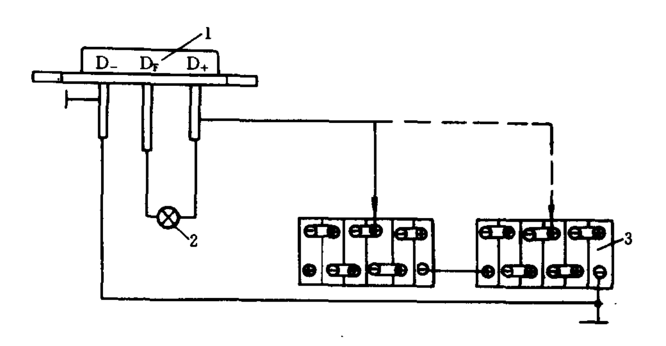


图 6-57　用蓄电池作电源检查集成电路调节器故障的电路之一
1—桑塔纳轿车交流发电机用集成电路调节器（外搭铁式）；
2—试灯；3—蓄电池

线由实线沿虚线方向逐格接触蓄电池的正端，发现试灯亮度渐渐增加，当蓄电池电压达 13.4～14.28 V 时，试灯应熄灭，则说明调节器是好的。若在试验过程中，发现试灯一直不亮或蓄电池电压大于 14.5 V 以上试灯不熄灭，则说明调节器有故障。集成电路调节器被损坏后不能修复，应予更换。

对于额定电压为 14 V 的五十铃柴油车交流发电机用集成电路调节器，其电路接线方法略有不同，如图 6-58 所示，当蓄电池电压为 10～12 V 时试灯应亮；当蓄电池电压大于 14～15 V 时，试灯应熄灭，说明调节器良好。如果蓄电池电压逐渐升高至大于 15 V 以上，试灯始终不亮，或始终不熄灭，则说明调节器损坏。

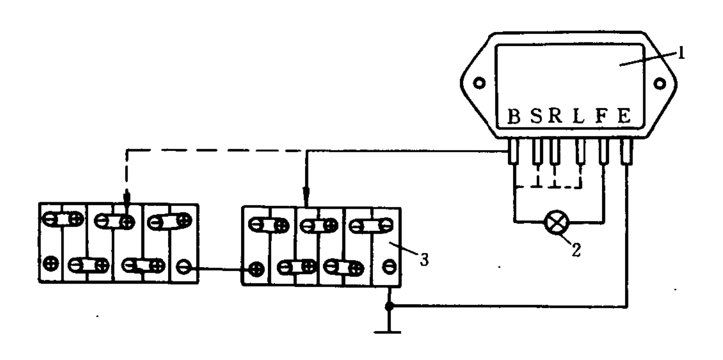


图 6-58　用蓄电池作电源检查集成电路调节器故障的电路之二
1—五十铃柴油车交流发电机用集成电路调节器(外搭铁式)；
2—试灯；3—蓄电池

对于北京切诺基汽车用交流发电机，其集成电路调节器的好坏用蓄电池和试灯来检验，如图 6-59 所示，接 12 V 的蓄电池试灯应发亮，但当接 16～18 V 的蓄电池时试灯应熄灭，则说明其调节器正常。若蓄电池不同电压变化前后试灯均

亮或不亮，则说明调节器损坏，应更换之。

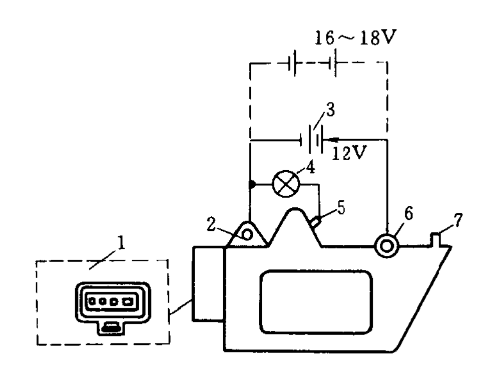


图 6-59 用蓄电池作电源检查集成电路调节器故障的电路之三
1—北京切诺基汽车调节器；2—接搭铁电刷；3—蓄电池；
4—灯泡；5—接绝缘电刷；6—调节器＋；7—“P”接柱

3）用可调直流电源检查

用一个 0～30 V、3～5 A 可调直流电源、一个试灯规格为 24 V 2～8 W，其电路如图 6-60 所示。对于额定电压为

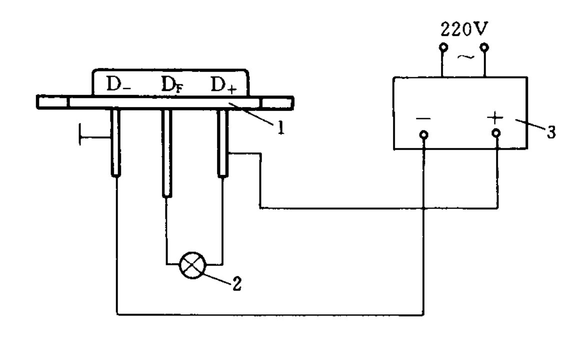


图 6-60 用直流可调电源检查外搭铁调节器故障的电路
1—集成电路调节器；2—试灯；3—可调直流电源

14 V集成电路调节器，当可调直流电源电压逐渐由 0～12 V 时，试灯亮度逐渐增加，当电压达到调节器的调节电压值(13.4～14.3 V)时试灯应熄灭，说明调节器正常；若可调直流电源电压升至 15 V 以上时，试灯始终未亮，说明调节器内部电路断路，这种故障现象将使发电机不发电；若可调直流电源电压大于调节电压值，试灯始终不熄灭，说明调节器内部电路短路，这种故障现象将致使发电机输出电压失控、对蓄电池充电量过大。

对于额定电压为 28 V 的集成电路调节器，其试灯熄灭的调节电压值应是上述额定电压为 14 V 的集成电路调节器的调节电压值的 2 倍。

对于夏利轿车交流发电机用集成电路调节器，其故障检查的电路和方法如图 6－61 所示。当可调直流电源的电压低

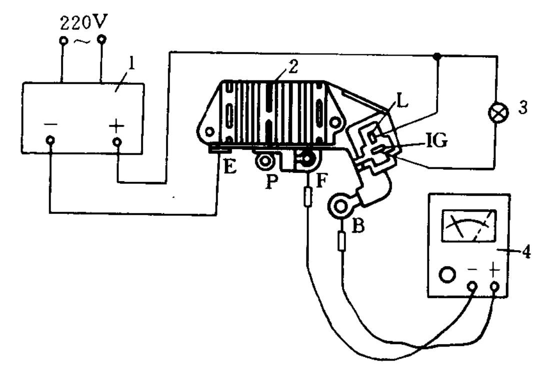


图 6－61　夏利轿车交流发电机用集成电路调节器故障检查的电路和方法
1—可调直流电源；2—夏利轿车交流发电机用集成电路调节器；3—试灯(12 V、20 W)；4—万用表

于 10 V 时试灯亮，说明调节器内部电路导通；当可调直流电源电压达 10～14.5 V 时试灯熄灭，说明调节器电压调节正

常。用万用表$R\times1$挡测调节器的“B”与“F”端，当正测试棒搭“B”端，负测试棒搭“F”端，其电路不通；当正测试棒搭“F”端，负测试棒搭“B”端，电路导通，并有一定电阻值，说明调节器内的续流二极管正常。若正负测试棒交替测得其电阻值均为∞，说明调节器的续流二极管断路。若正负测试棒交替测得其电阻值均为零，说明调节器的续流二极管短路。

4．集成电路调节器的试验

对于没有试验设备的单位，可将内装集成电路调节器的整体式交流发电机安装在车上，启动发动机，将发动机转速提高到2 000 r/min左右，打开前照明灯和部分用电设备，用万用表直流电压挡测发电机正负两输出端的电压值，其值符合调节器调节电压值，则说明调节器正常。

集成电路调节器在试验台上进行试验，其试验电路和要求可参见第二章第六节。其试验方法如下：将整体式交流发电机转速提高到额定工作转速，使负载在2 A～80%I_R额定电流范围内变化，测定调节器的调节电压值，对于额定电压为14 V的调节器，其调节电压变化在14 V±0.8 V；对于额定电压为28 V的调节器，其调节电压变化在28 V±1.6 V范围内，说明调节器正常。

（十五）急救与代换

1．交流发电机的急救

硅整流元件损坏，经检查测试后，发现全波桥式整流器六只硅元件中有一只短路损坏，而一时无法取得新元件更换。在这种情况下，可将该坏了的硅元件引出线切断，使其处于断路状态。交流发电机可以继续使用，但其输出功率比原来有所降低。

2．调节器的急救

若交流发电机配用调节器损坏后不能修复时，拆下火线与磁场接线柱导线，在两根导线间连接一只后尾灯泡（或制动灯泡），或连接一只 8～13 Ω 电阻，即可急救暂用，但发动机不宜高速运行，以免交流发电机输出电压过高而烧坏电器设备。

3. 交流发电机调节器的代用

如果交流发电机原配调节器损坏，又找不到新的配件又无处修的情况下，可以暂时换用某些其它型号的调节器。

如交流发电机配用的 FT70 调节器损坏，而一时又无法取得相同型号的调节器，在这种情况下，可临时借用与直流发电机配用的调节器，如 FT81、FT81D 型。用直流发电机调节器（俗称“三联”调节器）代用，只利用“三联”调节器中的调压部分，而将限流装置空着。其接线方法如图 6－62 所示。

用晶体管调节器代用，其接线方法如图 6－63 所示。

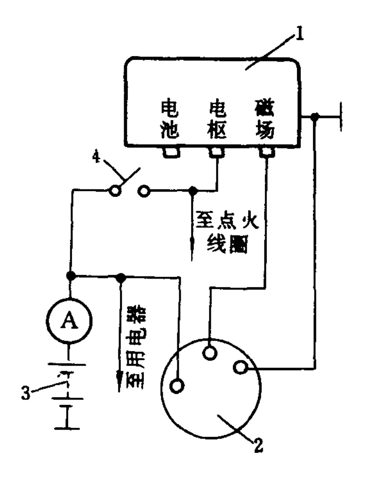


图 6－62　用三联调节器代用
1—三联调节器；2—交流发电机；
3—蓄电池；4—点火开关

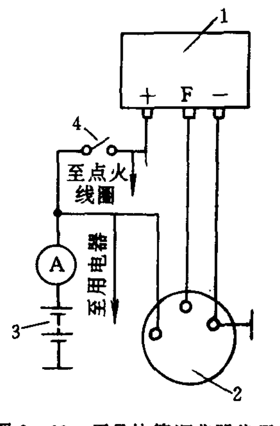


图 6－63　用晶体管调节器代用
1—晶体管调节器；2—交流发电机；
3—蓄电池；4—点火开关

调节器型号不同可以代用，但应注意与交流发电机匹配，其条件主要是：

（1）它们之间的电压等级应相符，即 14 V 的电压调节器只能与 14 V 的交流发电机相匹配；28 V 的电压调节器只能与 28 V 的交流发电机相匹配。

（2）所用的电压调节器应注意以交流发电机的最大激磁电流来选用，而不是以交流发电机的功率来选用。例如 FT213 型电压调节器的触点所允许通过的最大激磁电流为 5 A，则交流发电机的激磁绕组电阻应大于 7 Ω（留 1.3 的过载系数）。换句话说，其电压调节器所允许通过的激磁电流至少能达到多少安培，或交流发电机的最大激磁电流（或激磁绕组电阻）应少于或等于多少安培（或大于多少欧姆）。否则，将会引起电压调节器使用寿命降低或烧坏。

（3）搭铁极性必须相同。

二、永磁激磁交流发电机的使用和检修

（一）使用注意事项

（1）供直流输出的永磁交流发电机，与硅整流器必须配套工作，并与蓄电池并联，负极接地，不得反接，以防硅元件反向击穿。

（2）不允许在拆除蓄电池的情况下单独工作，以免被点火线圈初级线圈的感应反电势直接加在硅整流器两端而引起过电压击穿毁坏硅元件。

（3）该类交流发电机由于为永磁磁钢等构成，在装复前，应对转子表面作清洁处理，以免由铁屑及杂物的吸附而影响发电机正常运转。

（4）如发现硅整流器引线焊接断裂，重焊时应采用 45～

75 W 烙铁为宜，焊接应迅速，避免损坏硅元件。

（5）对硅整流器引出端严防正负极短接，以免烧坏硅元件。

（6）对于带控制点火时间的断电器装置的发电机，在使用过程中应注意断电器触点及其点火正时的检查。

（二）发电机的检修

采用带硅整流器的永磁交流发电机，结构简单、故障少。以 XF250 系列摩托车上用 G76B 型永磁交流发电机为例，其故障与排除方法列于表 6－17。

表 6－17　永磁激磁交流发电机故障诊断与排除方法

故障现象	故障原因	排除方法
不充电或充电不足	1. 插接件部分接触不良	修复
	2. 硅整流器部分元件损坏	用万用表 $R\times1$ 挡逐个检查硅元件有无短路、断路，检查时负测试棒搭散热片，正测试棒搭硅元件引出线端，如测得硅元件正向电阻值为 7～10 Ω，然后对换正负测试棒，如测得硅元件反向电阻值为 10 kΩ 以上，则说明硅元件是好的；如测得硅元件正反电阻值均很小甚至为零，则说明硅元件短路；如测得硅元件正反电阻值均极大，说明硅元件断路。硅元件损坏应更换同规格的硅元件
	3. 发电机定转子相擦	拆开发电机，观察定转子是否相擦，如是，应修复，使定转子之间气隙均匀。发电机复装后，转子旋转应匀称，无擦铁现象
	4. 永磁转子退磁	充磁或更换永磁转子
	5. 发电机电枢线圈短路、断路	用万用表 $R\times1$ 挡检查发电机电枢线圈电阻值应在 0.5～1 Ω 范围内，说明电枢线圈完好；如发现电枢线圈短路（电阻值为零），或其断路（电阻值为∞）及电枢线圈部分短路（这也将使发电机输出不足），应重绕线圈或更换

续表

故障现象	故障原因	排除方法
由断电器引起火花间断或减弱	1. 位角不正影响正时点火	调整断电器位角
	2. 触点打开间隙过大过小或表面接触不良	检查和修理触点间隙，保证其接触面积达 2/3 以上
	3. 断电器动触点臂弹簧软化	校正弹簧，使其压力在 5～7 N 范围内
	4. 断电器动触点臂胶木顶块与其臂轴卡死	用适量润滑脂润滑
断电器及电容器故障致使无火花	1. 断电器初级回路短路	用万用表或试灯检查绝缘是否良好
	2. 电容器击穿	检查和更换电容器

（三）发电机的试验

交流发电机经修复后，为检查其性能是否良好，可采用装车或装于试验台上进行试验。

装车试验，即将发电机装于车上，按原车电路接好线，对于 G76 系列永磁交流发电机，当发动机转速达 2 500 r/min 时，发电机输出电压在 7 V 左右；当发动机转速在 3 500 r/min以上时，其输出电压在 8 V 以上，说明发电机完好。

如将发电机装至试验台上进行试验，试验电路如图 6-64 所示。一般作负载试验即可。接通开关 K，均匀升高发电机转速，调节电压、电流至规定值，记录发电机转速，例如：对于 G76 永磁交流发电机，若其额定直流输出电压为 8 V、额定直流输出电流为 5.8 A，其转速小于或等于 2 500 r/min，说明发电机正常。对于 G76B 永磁交流发电机，若其额定直流输出电

压为 8 V、额定直流输出电流为 7.5 A，其转速小于或等于 2 500 r/min，说明发电机正常。

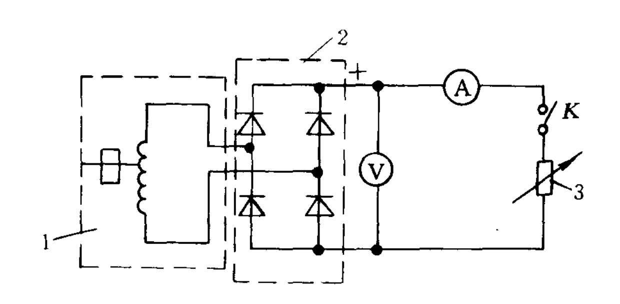


图 6-64　硅整流永磁交流发电机试验电路

1—永磁交流发电机；2—硅整流器；3—负载

(四) 带断电器的发电机点火正时检查

应用于某些摩托车上的发电机，其后盖上带有控制点火的断电器装置，这种发电机应注意断电器触点及点火正时的检查与调整。现以 XF250 系列摩托车上使用的交流发电机为例来加以说明。

1. 断电器触点的检修

断电器触点应保持清洁、其接触面应平整并贴合紧密，如图 6-65 所示。如触点上有脏污，只需用干净纸片或布将其擦净即可；如发现触点烧蚀或磨损，但并不太严重，可用白金砂条打磨触点，磨平后再用清洁的纸片清除触点上的残留的粉粒；如烧蚀和磨损严重应更换。

(a)　(b)　(c)

图 6-65　触点接触几种情况

(a) 良好；(b) 磨损或烧蚀；(c) 脏污

2. 触点间隙调整与点火时间正时

点火时间正时对保障发动机发挥最大功能，保障其正常工作十分重要。点火过早（点火提前角过大），气缸内可燃气体过早燃烧，使活塞到达上止点前压缩行程所消耗的功增加，发动机动力下降。同时会造成发动机爆发时间与活动行程不协调而使发动机震动，致使行驶不正常。点火过迟（点火提前角小），气缸内可燃气体燃烧时间增长，发动机过热，燃料利用率下降，严重时还会造成混合气未燃烧完而点燃下一个循环的混合气（两冲程机）产生化油器回火现象，发动机启动困难等。所以点火时间要正时，即要使活塞到达上止点前的点火时刻的最佳位置点燃气缸内的可燃混合气，使发动机输出最大的功率。

下面介绍 XF250 系列摩托车点火正时的调整。

1）断电器触点间隙的检查

平日常用的发动机，若断电器调节底板螺钉未松动，一般点火时间不会移动。若点火过早过迟而不能启动发动机，则首先应检查断电器间隙，一般可用厚薄规测量。若触点间隙过大，发动机易发生断火；若触点间隙过小，则易使触点被电火花烧蚀，所以经检查后触点间隙不符合 0.35～0.4 mm 规定，如图 3－32 所示，则可旋松断电器调节底板螺钉，用起子转动调节底板，使触点间隙达到规定值。然后拧紧断电器固定螺钉，并再次对触点间隙进行复查。

2）检查点火正时

取一根较粗的铁丝，弯成直角后，在铁丝上刻上每格 1 mm的刻度。然后从火花塞孔中插入气缸内，顺时针方向旋转凸轮轴，使活塞移至上止点，记下铁线在缸体上露出端的读数。然后再将凸轮逆时针方向转动，使活塞退至上止点前 3～4 mm 的位置，此时断电器开始张开，此时位置即点火正时位

置。若在这一位置，触点未张开或张开过早，可拧松断电器调节底板两个螺钉，转动调节底板，改变断电器触点与凸轮的相对位置，使触点达到刚刚张开的“点火正时”位置。

为了使触点张开的瞬间准确，还可采用试灯，将其两端接于线圈出线端与有效接地线之间，试灯熄灭的瞬间即为触点刚刚开始张开。

第二节　不带整流器的永磁交流发电机的使用和检修

一、使用注意事项

（1）发电机每一电路的负荷，应按原发电机使用说明书配用，不可随意增减灯泡或换用不同功率的灯泡，否则将造成工作不正常。

（2）白天不需接照明时，应拆掉发电机上的皮带，使之停止运转。否则不但轴承加速磨损，且发电机处在空载状态，电压失去调节，将会加速电机的损坏。

（3）发电机在使用 100 h 后，应拆卸检修一次。拆卸及装配时，切不可用锤猛击，以免铁氧体磁钢震碎失磁。如凸极式永磁转子，抽出后直接用铁片将转子磁路短接，以免永磁转子退磁。

（4）在正常转速下如灯光暗淡，说明电压偏低，原因一般为转子退磁。这种情况下，应更换永磁转子，或有充磁设备的单位，可将永磁转子重新充磁。

（5）发电机不宜放在温度超过 120 ℃以上的地方，以免影响发电机的性能。

二、发电机的检修

对于皮带轮式永磁交流发电机，每工作 1 000 h 应保养检修一次。其检修内容如下：

（1）将发电机拆开后，用汽油清洗前后盖滚珠轴承，用手轻轻推动轴承外圆，应转动自如。同时检查轴承是否过分松动，如经清洗无法达到使其转动灵活自如，或过分松动，应更换新轴承。如经清洗检查轴承是完好的，可以添加新的润滑脂（复合钙基润滑脂或高温润滑脂），以填充轴承空间的 2/3 为宜。

（2）检查定子线圈各线端是否有断裂、绝缘破损、脱焊等，如有应修复。

（3）检查定子线圈的对地绝缘性能，可用 220 V 50 Hz 交流电源串联一个 220 V 50 W 试灯一只，将试验电路一端搭定子铁心，另一端搭定子线圈的出线端，如果试灯不亮，则表示定子线圈对地绝缘良好；如试灯发亮，则表示其对地绝缘不良，必须加以修复。

4. 检查端盖上的油孔是否堵塞，或是否有漏油现象，如有需修复。定子线圈上有油污现象，应将其擦净。

5. 检查端盖上油封毡圈，有无擦破磨损，其圈孔应比轴上接触部分直径小 0.5～1 mm，圈孔过大轴承易漏油，应更换新的。

永磁交流发电机故障现象、故障原因及排除方法如表 6-18 所示。

表 6-18　永磁交流发电机故障现象、故障原因及排除方法

故障现象	故障可能原因	排除方法
不发电	接头引线松脱	找出松脱处并接牢
	定子线圈断线	找出断头焊牢，加以绝缘
	定子线圈短路	比较各路电阻，找出故障加以消除
	定子线圈搭铁	用 220 V 交流电源试灯电路检查
电压低	定子线圈短路或搭铁	找出原因修理
	永磁转子附有铁屑	清除永磁转子上铁屑
	永磁转子退磁，磁钢破裂	充磁或更换永磁转子
杂　音	轴承松动	检查换新
	定子与转子相擦	检查定转子之间气隙大小及轴承是否松动，并须注意转子轴向游隙不超过 0.7 mm
	轴承缺少润滑油（轴承发热）	清洗后加油
转子不灵活	前后盖有歪斜	三只对撬螺栓紧松不均，应加以调整
	无轴向游隙	一般为三只对撬螺栓过紧，可松开再旋紧
	皮带轮的装配与油封毡圈配合不好	检查后排除故障
	轴承缺油	清洗后加油
热度高	包括转子不灵活的各种原因	修理
	定子线圈短路	比较各路电阻，找出故障加以排除

三、发电机的试验

永磁交流发电机经检修装复后，可装于试验台上进行测

试，其试验电路如图6－66所示。其试验方法如下：将永磁交流发电机装在专用试验台上，接以规定的额定负载（用相当的电阻代替，如表6－19），拖动发电机从低速到高速转动，用电压表（应采用变频电压表，精度0.5级）测量发电机每路端电压，其转速、电压值应符合表6－20规定。

表6－19　以相当的电阻代替灯泡电阻的参数

灯泡		相当阻值/Ω（允差±0.5 Ω）		
电压/V	功率/W	最低工作转速时	额定工作转速时	最高工作转速时
6	15	2.4(2.5)	2.8(2.9)	3.1(3.3)
	20	1.7(1.8)	1.9(2.0)	2.1(2.2)
12	30	4.5	5.3	5.8
注：括号内数值适用于长期高温下工作的飞轮交流发电机				

图6－66　永磁交流发电机试验电路

表6－20　永磁发电机冷态时的性能参数

标称电压/V	每路(相)端电压/V（20 ℃±5 ℃）		
	最低工作转速时≥	额定工作转速时≥	最高工作转速时≥
6	4.5 (5)	6 (6.5)	8 (9)
12	9	12	15.5

注：1. 括号内数值适用于长期高温工作下的飞轮交流发电机；
2. 经用户同意最低工作转速时的数值允许不考核；
3. 在一般要求下，永磁交流发电机在最低工作转速运行时每路(相)的端电压之差不大于0.5 V

四、磁钢的充磁

由于磁钢的充磁方法及其充磁设备需由发电机的结构和磁钢的形状、性质而定。所以磁钢的充磁需要专用设备。普通用户无这类设备，上述发电机永磁转子退磁后，一般只得更换，或送专门修理部门修理。

如果要自制磁钢充磁设备，其设计原理和方法如下。

为了使磁钢磁感应强度达到饱和点 B_s，其需要相当于 5 倍矫顽力以上的磁势，即

$$F_s \geqslant 6F_c \quad 和\ H_s \geqslant 6H_c$$

式中 F_s——使磁钢磁感应强度达到饱和点 B_s 的磁势(A)；

F_c——磁钢的磁势(A)；

H_s——使磁钢达到饱和点 B_s 的磁场强度(A/m)；

H_c——磁钢的矫顽力(A/m)

其中 $F_c = F_M + F$

式中 F_M——相当于磁钢内部的磁压降(A)；

F——相对于磁钢对外磁路输出的磁势(A)

不同的磁钢，其所需的磁场强度如表 6－21 所示。

表 6－21 不同磁钢充磁所需的磁场强度

材　　料	磁场强度/($A \cdot m^{-1}$)
镍铝钴	0.764
钡铁氧体	2.468
钕铁硼	7.643
稀土钴	7.643

若充磁磁路包含气隙的高磁阻磁路以及漏磁，则与磁钢理想闭合磁路相比，充磁设备所需的磁势还需按比率相应增加。

充磁设备由磁化线圈、可动磁极、磁轭等组成。为了被充

磁的磁钢与充磁设备形成的磁路尽可能形成较理想的闭合磁路，以便用最小的充磁设备的磁势就能使磁钢达到饱和，所以充磁设备一般采用可动磁极。充磁设备磁轭和它的可动磁极均采用 10 号钢制成。充磁设备的磁势主要被消耗在磁钢上，而其磁轭以及可动磁极则磁耗很小，而其磁势可以下式求得：

$$F_s = H_s h_M = 1.25\ I\omega h_M$$

式中 I——磁化线圈内流过的电流(A)；

ω——磁化线圈的匝数。

磁钢充磁要遵照规定方向，这对各向异性磁钢尤为重要，如果充磁方向弄错，则磁钢充磁质量会下降。

磁钢充磁时要保持足够的时间，尽管当充磁设备产生磁势时，磁钢在闭合磁回路内能在瞬间基本上被磁化。但由于充磁设备的磁化线圈的电感将使其电流稍微滞后，故需要保持 1～2 s 左右的通电状态。在实际充磁过程中，一般接通电源 2～3 次，以便使磁钢的磁能充足。

充磁后的磁钢或经稳磁处理后的磁钢应用导磁体将两磁极短接，但不宜放于超过 120 ℃的高温地方，以免影响磁钢的性能。

对于爪极式永磁转子，由于其采用环形磁钢，充磁设备可采用如图 6-67 的结构制成。用 220 V 交流电压经全波整流后作电源，尽管磁化线圈电感很大，但是磁化电流仍很平滑，即使突然切断电源开关，也能在整流器中形成闭路，不致产生异常电压。

对于凸极式永磁转子，其充磁设备的结构可参见图 6-68 所示。

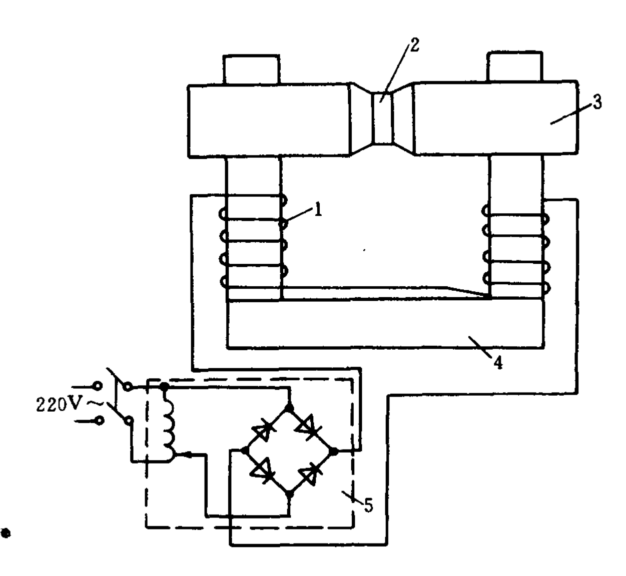


图 6-67　环形磁钢充磁机结构原理图

1—充磁机线圈；2—磁钢；3—充磁机磁极；4—充磁机磁轭；5—全波整流电源

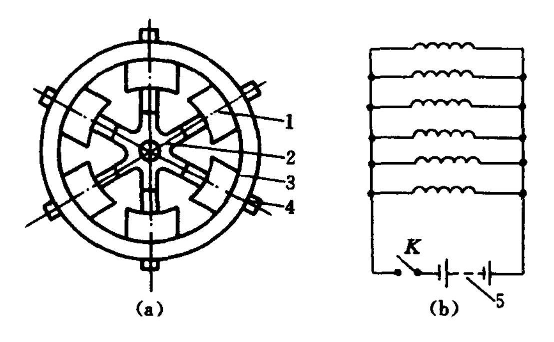


图 6-68　凸极形磁钢充磁机结构原理

(a) 充磁机结构；(b) 充磁机电路原理图

1—充磁机线圈；2—磁钢；3—充磁机机身(磁轭)；4—充磁机磁极；5—蓄电池

主要参考文献

[1] 长沙汽车电器研究所编. 汽车交流发电机(第二版). 北京:人民交通出版社,1980

[2] 费先柯 M H. 汽车拖拉机电气设备. 北京:人民交通出版社,1984

[3] 西安公路学院编. 汽车拖拉机电器与电子设备. 北京:人民交通出版社,1985

[4] 戈里 G. 汽车交流发电机. 北京:人民交通出版社,1987

[5] 浙江农业大学等编. 拖拉机构造与使用. 北京:机械工业出版社,1981

[6] 吉林省农牧厅编. 小型拖拉机驾驶员培训读本. 长春:吉林科学技术出版社,1985

[7] 辛长平. 现代摩托车电气维修与调整. 北京:人民交通出版社,1995

[8] 陆瑞刚等. 幸福牌摩托车用户手册. 福州:福建科学技术出版社,1995

[9] 王宗耀等. 现代摩托车结构大观. 北京:人民邮电出版社,1996

[10] 彭标兴等. 国产轿车构造与维护. 北京:北京理工大学出版社,1996

[11] 胡明义. 汽车拖拉机用硅整流爪极发电机磁场分析. 汽车电器,1974(1)

[12] 胡明义. 一种新型的拖拉机用无刷发电机. 电机技术,1981(2)

[13] 王练. 上海桑塔纳轿车电气设备特点. 汽车电器,1989(3)

[14] 徐国昌. 上海桑塔纳轿车用交流发电机. 汽车电器,1989(5)

[15] 陈义成等. 汽车永磁交流发电机. 汽车电器,1992(4)

[16] 王凤昌,姜思杰. 具有开发前途的稀土永磁发电机. 汽车电器,1995(6)

附表 1：

我国市场流行的汽车、拖拉机交流发电机规格参数

车型与机型	交流发电机型　号	规格参数			配用调节器型号	安装方式
		额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r·min^{-1})		
上海桑塔纳	JFZ1813Z	14	90	6 000	内装式	单挂脚
一汽奥迪	JFZ1913Z	14	90	6 000	内装式	单挂脚
一汽小红旗	JFZ1813Y	14	90	6 000	内装式	单挂脚
	JFZ1913Y	14	90	6 000	内装式	单挂脚
	JFZ1915	14	90	6 000	内装式	单挂脚
华利 TJ1010	JF134	14	36	4 000	JFT126A	双挂脚
(天津大发 TJ110)	JF138E	14	35	6 000	JF1411	双挂脚
	JF152T	14	36	4 800	FT111	双挂脚
广州标致 505	JFZ1512	14	47	4 000	内装式	双挂脚
奥拓	JFZ1533	14	40	5 000	内装式	双挂脚
富康	AILVi 10	12	50	4 000	内装式	双挂脚
北京切诺基	JFZ1923	14	90	5 000	内装式	双挂脚
	JFZ192	14	90	5 000	内装式	双挂脚
南京依维柯	JFZ1932	14	95	6 000	内装式	双挂脚
	JFZ1814	14	85	6 000	内装式	双挂脚
一汽高尔夫	JFZ1913Z	14	90	6 000	内装式	单挂脚
一汽捷达	JFZ1913Z	14	90	6 000	内装式	单挂脚
五十铃	JFB1502	14	50	5 000	JFT158	双挂脚
一汽 488 发动机	JFZ1815Z	14	55	4 800	内装式	单挂脚
	JFZ1523 A	14	55	6 000	内装式	单挂脚
一汽解放 CA15	JF132C	14	25	2 500	FT61—F	双挂脚
一汽解放 CA1091	JF1526	14	50	5 000	JFT145	双挂脚
(CA141)	JF1522 A	14	50	5 000	JFT106	双挂脚
一汽解放 CA1090K	JF2712	28	25	3 500	JF2081	双挂脚
(CA141K)	JF2712B	28	25	3 500	FT221	双挂脚

续表

车型与机型	交流发电机型号	规格参数			配用调节器型号	安装方式
		额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r·min^{-1})		
二汽东风 EQ1090 (EQ140)	JF1536	14	50	6 000	JFT149	双挂脚
	JF1521	14	50	5 000	FT61	双挂脚
	JFW132	14	36	6 000	JFT149	双挂脚
	JFW25	28	18	2 500	FT62—F	双挂脚
跃进 NJ130	JF13 A	14	35	5 000	FT61	单挂脚
跃进 NJ1061D (NJD131)	JFB2525	28	18	2 500	FT223	双挂脚
北京 BJ2023 (BJ212)	JF152E	14	50	6 000	JFT142B	双挂脚
	JF133D	14	35	5 000	JFT142B	双挂脚
武汉 WHQ1030 (WH120) WHQ2030(WH213)	JF13EZ	14	35	5 000	FT124	单挂脚
一汽轻型车	JFZ1913Z	14	90	6 000	内装式	单挂脚
	JFZ1523	14	55	6 000	内装式	单挂脚
解放公共汽车	JF152	14	50	5 000	FT61	双挂脚
东风公共汽车	JF152 A	14	36	2 500	FT111	双挂脚
682Q 旅游车	JFZ1813ZB	14	72	4 800	内装式	单挂脚
康明斯发动机	JFZ2814	28	35	6 000	内装式	双挂脚
上海 50 拖拉机 495A 柴油机	JF1211Z B85—2	14	14.5	3 500	FT111	单挂脚
395 柴油机	JF1211Z B95—3	14	14.5	3 500	FT111	单挂脚
新上海 50 拖拉机 4100 柴油机	JF1211Y B85—2	14	14.5	3 500	FT111	单挂脚
481 柴油机 丰收 27、30 拖拉机	JF1211ZD B95—3	14	14.5	3 500	FT111	单挂脚
4115T 柴油机 铁牛 55 拖拉机	JF2311Z C90	28	12.5	3 500	FT211	单挂脚

续表

车型与机型	交流发电机型号	规格参数			配用调节器型号	安装方式
		额定电压/V	额定电流/A	额定转速/$(r \cdot min^{-1})$		
X6105 东风－5联合收割机	JF2311Z 2B90－1	28	12.5	3 500	FT221	单挂脚
工农－10手扶拖拉机	SFF－30	6～8	3.7～5	2 000		
工农－12手扶拖拉机	SFF－45	6～8	5.6～7.5	2 000		
东风－12手扶拖拉机	SFF－45	6～8	5.6～7.5	2 000		
东方红－75拖拉机 东方红－54拖拉机	JF61	6	1 300 r/min≥4.2 V 2 100 r/min为5.5 V 2 300 r/min为5.5～7.9 V			双挂脚
	JF90	12	1 300 r/min≥9.5 V 2 500 r/min为12 V 2 800 r/min为12～16 V			双挂脚

附表 2

我国市场流行的摩托车交流发电机规格参数

车型	交流发电机型号与结构型式	试验项目		规格参数	电压调节方式
嘉陵 JH70	无触点飞轮式磁电机	充电电流	白天	4 000 r/min>1.0 A 8 000 r/min<2.5 A	整流调压器
			夜间	4 000 r/min>0.7 A 8 000 r/min<1.8 A	
		照明线圈输出电压		4 000 r/min>8.5 A 8 000 r/min<8.7 A	
嘉陵 JH125	无触点飞轮式磁电机	充电电流	白天	4 000 r/min>1.3 A 10 750 r/min<3 A	整流调压器
			夜间	4 000 r/min>0.9 A 10 750 r/min<3 A	
		照明线圈输出电压		4 000 r/min>7 V 10 750 r/min<7 V	
重庆·雅马哈 CY80	无触点飞轮式磁电机	充电电流	白天	3 000 r/min>0.5 A 8 000 r/min<4.0 A	整流调压器
			夜间	3 000 r/min>1.0 A 8 000 r/min<1.7 A	
		照明线圈输出电压		2 500 r/min>5.3 V 8 000 r/min<8.0 V	
铃木 AX100	无触点飞轮式磁电机	充电电流	白天	4 000 r/min>1.0 A 8 000 r/min<2.8 A	电阻平衡式稳压电路
			夜间	4 000 r/min>0.7 A 8 000 r/min<2.8 A	
		照明线圈输出电压		2 500 r/min>6 V 8 000 r/min<8.7 V	

续表

车　型	交流发电机型号与结构型式	试验项目		规格参数	电压调节方式
幸福 XF125	无触点飞轮式磁电机	充电电流	白天	4 000 r/min>1.0 A 8 000 r/min<2.0 A	整流调压器
			夜间	4 000 r/min>0.8 A 8 000 r/min<2.0 A	
		照明线圈输出电压		4 000 r/min>8 V 8 000 r/min<8.3 V	
铃木 A100	有触点飞轮式磁电机	充电电流	白天	2 500 r/min>1.0 A 8 000 r/min<2.5 A	电阻平衡式稳压电路
			夜间	2 500 r/min>1.0 A 8 000 r/min<2.5 A	
		照明线圈输出电压		2 500 r/min>5.7 V 8 000 r/min<8.7 V	
嘉陵 CJ50	有触点飞轮式磁电机	照明线圈输出电压		1 500 r/min>3 V 6 000 r/min<7 V	
铃木 A80	有触点飞轮式磁电机	充电电流	白天	4 000 r/min>0.8 A 8 000 r/min<3.4 A	电阻平衡式稳压电路
			夜间	4 000 r/min>0.7 A 8 000 r/min<2.8 A	
		照明线圈输出电压		4 000 r/min>6.0 V 8 000 r/min<9 V	
南方 125	有触点飞轮式磁电机	充电电流	白天	3 000 r/min>1 A 8 000 r/min<2.5 A	整流调压器
			夜间	3 000 r/min>0.6 A 8 000 r/min<2.5 A	
		照明线圈输出电压		4 000 r/min>6.2 V 8 000 r/min<8.2 V	
幸福 XF250 A、B、C、D	GB76B 硅整流永磁交流发电机	额定输出功率		60W	蓄电池稳压
		充电照明输出电压		2 500 r/min 7 V 左右 3 500 r/min 8 V 左右	

续表

车　　型	交流发电机型号与结构型式	试验项目	规格参数	电压调节方式
东海 750	2JF150B 硅整流有刷交流发电机	额定输出功率	150W	FT111
		空　载	14 V　≤1 050 r/min	
		满　载	14V 11A　≤2 000 r/min	